

СОДЕРЖАНИЕ

Том 89, номер 5, 2019

Научная сессия Общего собрания членов Российской академии наук "Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации" (продолжение)

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"

(председатель Совета по приоритету академик РАН В.П. Чехонин)

Вступительное слово председателя Совета по приоритету вице-президента РАН академика РАН В.П. Чехонина	423
Выступление заместителя министра здравоохранения РФ С.А. Краевого	425
В.Н. Даниленко. Разработка технологической платформы для создания инновационных противотуберкулёзных препаратов, активных в отношении штаммов с множественной лекарственной устойчивостью	427
Выступление академика РАН В.Г. Акимкина	436
А.А. Кокошин. Искусственный интеллект и некоторые вопросы обеспечения безопасности России	437
Выступление генерального директора АО "Т-Платформы" В.Ю. Опанасенко	440
С.Д. Варфоломеев, С.М. Ломакин, П.А. Сахаров, А.В. Хватов. Эффективные химические методы управления горением: новые угрозы и новые решения	442
Выступление доктора физико-математических наук С.М. Фролова	449
Выступление доктора технических наук А.Б. Сивенкова	451

Приоритет научно-технологического развития "Переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счёт рационального применения лекарственных препаратов, прежде всего антибактериальных"

(председатель Совета по приоритету академик РАН А.А. Макаров)

Выступление заместителя министра здравоохранения РФ С.А. Краевого	453
М.В. Ковальчук, О.С. Нарайкин, Е.Б. Яцишина. Природоподобные технологии: новые возможности и новые вызовы	455
Д.Ю. Пушкарёв, А.В. Говоров, К.Б. Колонтарев. Робот-ассистированная хирургия	466
Д.В. Морозов, Р.А. Иванов, П.М. Гершиович, Н.Е. Пестова, М.В. Петрова. Генетические технологии для медицины: потребности общества и бизнеса	470
П.М. Чумаков. Обеспечат ли онколитические вирусы революцию в онкологии?	475
Общая дискуссия по приоритету: выступления академиков РАН И.И. Дедова, Г.Т. Сухих, Е.Л. Чойнзонова, Ю.В. Гуляева	485

Приоритет научно-технологического развития "Связанность территории Российской Федерации за счёт 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 М.А. Погосян)

Выступление министра природных ресурсов и экологии РФ Д.Н. Кобылкина	487
М.А. Погосян, Д.Ю. Стрелец, В.Г. Владимирова. Связанность территории Российской Федерации: от постановки комплексных задач к формированию комплексных научно-технических проектов	489

<i>В.А. Соловьёв, А.А. Коваленко, С.В. Соловьёв. Приоритетные научно-технические задачи в сфере освоения и эффективного использования космического пространства</i>	496
<i>А.А. Лутовинов, Е.А. Лупян, М.А. Погосян, А.О. Шемяков. Обеспечение информационной связанности территории России с использованием систем дистанционного зондирования Земли</i>	502
<i>Г.Г. Матишов, К.Д. Матишов, Е.Э. Кириллова. Российская океанология и перспективы освоения биоресурсов Мирового океана</i>	509
<i>Выступление академика РАН Н.С. Бортникова</i>	513
<i>Выступление члена-корреспондента РАН В.Д. Каминского</i>	515
<i>Выступление доктора технических наук И.Н. Розенберга</i>	517

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"
(председатель Совета по приоритету академик РАН И.М. Донник)

<i>Выступление председателя Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию А.П. Майорова</i>	519
<i>Вступительное слово председателя Совета по приоритету вице-президента РАН академика РАН И.М. Донник</i>	520
<i>А.Л. Иванов. Научно-технологическое развитие землепользования с использованием цифровых технологий в земледелии</i>	522
<i>Выступление губернатора Белгородской области члена-корреспондента РАН Е.С. Савченко</i>	525
<i>И.В. Савченко. Ресурсосберегающее экологически чистое растениеводство для получения продукции высокого качества</i>	527
<i>В.В. Калашников. Высокопродуктивное экологически чистое животноводство и аквакультура с заданными показателями качества продукции</i>	532
<i>А.Ю. Измайлов. Интеллектуальные технологии и роботизированные средства в сельскохозяйственном производстве</i>	536
<i>А.Г. Галстян, Л.М. Аксёнова, А.Б. Лисицын, Л.А. Оганесянц, А.Н. Петров. Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов</i>	539
<i>Выступление главы Администрации Тамбовской области доктора экономических наук А.В. Никитина</i>	543
<i>Выступление председателя Наблюдательного совета группы компаний "Белая Дача" кандидата экономических наук В.А. Семёнова</i>	545
<i>Выступление академика РАН С.Д. Каракотова</i>	548
<i>Выступление начальника Управления Президента РФ по научно-образовательной политике И.П. Биленкиной</i>	549
<i>Выступления участников Научной сессии Общего собрания членов РАН: академиков РАН И.А. Щербакова, Р.И. Нигматулина, члена-корреспондента РАН М.П. Лебедева, академика РАН А.А. Шутькова, члена-корреспондента РАН А.Н. Спартака</i>	550
<i>Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации. Постановление Общего собрания членов РАН</i>	554

Официальный отдел

<i>Награды и премии</i>	556
-------------------------	-----

CONTENTS

Vol. 89, No. 5, 2019

Simultaneous English language translation of the journal is available from Pleiades Publishing, Ltd.
Distributed worldwide by Springer. *Herald of the Russian Academy of Sciences* ISSN 1019-3316

Priority of scientific and technological development "Countering technology-related, biogenic, social, and cultural threats, terrorism and ideological extremism, as well as cyber threats and other sources of hazard to society, economy and the state"

(chairman of the priority Council academician of RAS V.P. Chekhonin)

Opening Speech of the chairman of the priority council, vice-president of the RAS, academician <i>V.P. Chekhonin</i>	423
Speech of the deputy minister of health of the Russian Federation <i>S.A. Kraevoy</i>	425
<i>V.N. Danilenko</i> . Development of a technological platform for creating innovative anti-tb drugs effective against multi-drug-resistant strains	427
Speech of the academician of RAS <i>V.G. Akimkin</i>	436
<i>A.A. Kokoshin</i> . Artificial intelligence and some issues of Russian security provision	437
Speech of the general director of "T-platform" <i>V.Yu. Opanasenko</i>	440
<i>S.D. Varfolomeev, S.M. Lomakin, P.A. Sakharov, A.V. Khvatov</i> . Effective chemical methods of fire control: new threats and new solutions	442
Speech of the doctor of physical and mathematical sciences <i>S.M. Frolov</i>	449
Speech of the doctor of engineering sciences <i>A.B. Sivenkov</i>	451

Priority of scientific and technological development "Transition to personalized medicine, high-tech healthcare and health-saving technologies, including through the rational use of drugs, primarily antibacterial drugs"

(chairman of the priority Council, academician of RAS A.A. Makarov)

Speech of the deputy minister of health of the Russian Federation <i>S.A. Kraevoy</i>	453
<i>M.V. Kovalchuk, O.S. Naraikin, E.B. Yatsishina</i> . Nature-like technologies: new opportunities and new challenges	455
<i>D.Y. Pushkar, A.V. Govorov, K.B. Kolontarev</i> . Robot-assisted surgery	466
<i>D.V. Morozov, R.A. Ivanov, P.M. Gershovich, M.V. Petrova, N.E. Pestova</i> . Genetic technologies for medicine: the demands of society and business	470
<i>P.M. Chumakov</i> . Could oncolytic viruses provide a breakthrough in oncology?	475
General discussion on priorities: speeches of academicians <i>I.I. Dedov, G.T. Sukhikh, E.L. Choyznzonov, Yu.V. Gulyaeva</i>	485

Priority of scientific and technological development "Connectedness of the territory of the Russian federation through the creation of intelligent transport and telecommunication systems, as well as the occupation and retention of leadership positions in the creation of international transport and logistics systems, the development and use of space environment and airspace, World ocean, the Arctic and Antarctic"

(chairman of the priority Council, academician of RAS M.A. Poghosyan)

Speech of the minister of natural resources and ecology of the Russian Federation <i>D.N. Kobylkin</i>	487
<i>M.A. Pogosyan, D.Y. Strelets, V.G. Vladimirova</i> . Territorial connectivity of Russian Federation: from statement of work to complex scientific and engineering projects formation	489
<i>V.A. Soloviev, A.A. Kovalenko, S.V. Soloviev</i> . Priority scientific and technical tasks in the field exploration and efficient use of space	495
<i>A.A. Lutovinov, E.A. Lupyan, M.A. Pogosyan, A.O. Shemyakov</i> . Providing territorial connectivity of Russian Federation with usage of earth's remote sensing	502

<i>G.G. Matishov, K.D. Matishov, E.A. Kirillova. Russian oceanology and prospects of development of bioresources of the World ocean</i>	509
Speech of the academician of RAS. <i>N.S. Bortnikov</i>	513
Speech of the RAS corresponding member <i>V.D. Kaminsky</i>	515
Speech of the doctor of engineering <i>I.N. Rosenberg</i>	517

The priority of scientific and technological development "The transition to a highly productive and environmentally-friendly agricultural and aquatic economy, the development and implementation of systems for the rational use of means of chemical and biological protection of agricultural plants and animals, storage and efficient processing of agricultural products, creation of safe and high-quality food products, including functional ones"

(chairman of the priority Council, academician of RAS I.M. Donnik)

Speech of the chairman of the council of the Federation committee for agrarian and food policy and environmental management <i>A.P. Mayorov</i>	519
Speech of the chairman of the priority council, the RAS vice-president, academician of RAS <i>I.M. Donnik</i>	520
<i>A.L. Ivanov. Scientific and technological development of land use with the application of digital technologies in agriculture</i>	522
Speech of the governor of the Belgorod region, the corresponding member of the RAS, <i>E.S. Savchenko</i>	525
<i>I.V. Savchenko. Ecology safety crop production for obtaining high-quality products</i>	527
<i>V.V. Kalashnikov. Highly productive, environmentally pure livestock and aquaculture with given indicators of product quality</i>	532
<i>A.Yu. Izmaylov. Smart technologies and robotic means in agricultural production</i>	536
<i>A.G. Galstyan, L.M. Aksonova, A.B. Lisitsyn, L.A. Oganesyants, A.N. Petrov. Modern approaches to storage and effective processing of agricultural products for obtaining high-quality food products</i>	539
Speech of the head of the Administration of the Tambov region <i>A.V. Nikitin</i>	543
Speech of the chairman of the Supervisory board of the group of companies "Belaya dacha" <i>V.A. Semenov</i>	545
Speech of the academician of RAS <i>S.D. Karakotov</i>	548
Speech of the head of the department of the President of the Russian Federation on scientific and educational policy <i>I.P. Bilenkina</i>	549
Speeches of the participants of the scientific session of the general meeting of the RAS members academicians <i>I.A. Shcherbakov, R.I. Nigmatulin</i> , corresponding member of RAS <i>M.P. Lebedev</i> , academician <i>A.A. Shutkov</i> , corresponding member of RAS <i>A.N. Spartak</i>	550
Resolution of the General meeting of the RAS members	554

Official Section

Awards and prizes	556
-------------------	-----

НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИОРИТЕТОВ
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН
13–14 НОЯБРЯ 2018 ГОДА, МОСКВА (Продолжение)**

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"

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СОВЕТА ПО ПРИОРИТЕТУ АКАДЕМИК РАН В.П. ЧЕХОНИН

**ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕДСЕДАТЕЛЯ СОВЕТА ПО ПРИОРИТЕТУ
ВИЦЕ-ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА РАН В.П. ЧЕХОНИНА**

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.
Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: большие вызовы, противодействие угрозам, комплексные научно-технические программы, методы искусственного интеллекта, множественная лекарственная устойчивость.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895423-424>

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации акцентирует внимание на больших вызовах, которые, с одной стороны, создают существенные риски для общества, экономики, системы государственного управления, но, с другой — представляют собой важный фактор возникновения новых возможностей и перспектив развития страны.

После появления двух документов, определяющих формирование Стратегии научно-технологического развития РФ и подписанных Президентом страны в 2016 г., а также соответствующего постановления Правительства РФ о приоритетах была сформирована концепция, которая, по сути дела, легла в основу формирования приоритета, связанного с противодействием различным угрозам.

Базовой организацией в рамках данного приоритета является Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Цель работы Совета по приоритету — выявление, отбор, формирование, мониторинг, реализация комплексных научно-технических программ и проектов. Перечислю основные критерии отбора комплексных программ:

- социальная польза реализации 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;
- потенциал проекта с точки зрения стимулирования смежных исследовательских областей;
- наличие ресурсов на реализацию экономических параметров проекта;
- заинтересованность бизнеса в поддержке данного проекта.

Среди трёх направлений, которые будут сегодня рассмотрены, — вопрос об использовании методов искусственного интеллекта в целях обеспечения национальной безопасности. Имеются в виду нейтрализация социокультурных угроз и вызовов; повышение эффективности правоохранительной деятельности, в том числе в борьбе с экстремизмом и терроризмом; предупреждение и оптимизация реакции на техногенные и природные чрезвычайные ситуации; решение комплекса задач в области кибербезопасности.

Другая очень важная тема обсуждения — возможности создания технологической платформы для разработки инновационных препаратов, активных в отношении штаммов возбудителей инфекций с множественной лекарственной устойчивостью. Неспособность крупнейших фармакологических корпораций найти адекватное решение данной проблемы — это вызов мировому сообществу, глобальная нарастающая угроза. Например, что касается туберкулёза, в 2017 г. число заболевших достигло в мире 10 млн человек, а умерших — более 2 млн человек. Мировое научное сообщество пока не способно объяснить природу генетических механизмов и причин распространения множественных лекарственно устойчивых форм туберкулёза. Мы отчётливо понимаем, что проект, ориентированный на создание средств борьбы с микроорганизмами, характеризующимися множественной лекарственной устойчивостью, должен быть междисциплинарным. Консорциум, в состав которого вошли Минобрнауки России, Минздрав России, Роспотребнадзор, Федеральное медико-биологическое агентство России, был создан в 2017 г. Его силами подготовлена комплексная программа научных исследований, включая:

- разработку диагностикумов для выявления инфекций и генотипического определения их лекарственной устойчивости;
- создание противотуберкулёзных антибиотиков нового механизма действия;
- разработку новых генно-инженерных вакцин;
- создание адъювантов на основе пробиотиков для использования интраназальной противотуберкулёзной вакцины.

Ещё одна важная тема касается исследований в области эффективных химических средств управления горением. Борьба с катастрофическими пожарами становится всё более актуальной, поскольку речь идёт о многомиллиардных убытках и многочисленных человеческих жертвах. И здесь одна из ключевых задач — разработка средств борьбы и средств управления процессами горения. Проблематика, которая связана с данным приоритетом, крайне сложна в том числе вследствие многосторонности и мультифокальности подходов. Тем более важно понимать, что совместная работа членов академии — химиков, физиков, математиков, специалистов в области информатики, других дисциплин — создаёт условия для решения целого ряда проблем в рамках приоритета.

OPENING SPEECH OF THE CHAIRMAN OF THE PRIORITY COUNCIL, VICE-PRESIDENT OF THE RAS, ACADEMICIAN OF RAS V.P. CHEKHONIN

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: grand challenges, countering threats, integrated scientific and technical programs, artificial intelligence methods, multidrug resistance.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ЗАМЕСТИТЕЛЯ МИНИСТРА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РФ С.А. КРАЕВОГО

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: снижение смертности населения, Национальный проект "Здравоохранение", персонализированная медицина, цифровизация здравоохранения, биомедицинские технологии, Федеральный закон "Об охране здоровья граждан".

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895425-426>

Прежде всего позвольте передать вам приветствие и самые тёплые пожелания успешной работы министра здравоохранения, члена-корреспондента РАН В.И. Скворцовой.

Хотелось бы начать с последнего программного документа — майского указа "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года", в котором сформулированы высокие ориентиры, в том числе в сфере здравоохранения. Напомню, что одна из основных стратегических целей указа — увеличение ожидаемой продолжительности жизни в стране до 78 лет к 2024 г. и до 80+ к 2030 г. Сейчас ожидаемая продолжительность жизни у нас составляет почти 73 года. Соответственно, среди целевых показателей в сфере здравоохранения — снижение смертности прежде всего трудоспособного населения с 473 до 350 случаев на 100 тыс. населения, то есть почти на 25%. Первостепенное внимание уделяется основным причинам смерти — сердечно-сосудистым и онкологическим заболеваниям. Предполагается снизить смертность вследствие патологий системы кровообращения с 587 до 450 случаев на 100 тыс. населения и вследствие новообразований — с 200 до 185 случаев на 100 тыс. населения.

Поставленные задачи можно выполнить только с применением комплексного подхода, среди элементов которого — внедрение современных методов профилактики, диагностики, лечения и реабилитации, что в совокупности составляет один из приоритетов современного здравоохранения. Для решения задач и достижения целей президентского указа сформирован Национальный проект "Здравоохранение", реализация которого связана с развитием таких тенденций, как персонализация медицины, информатизация и цифровизация здравоохранения, внедрение биомедицинских технологий.

Персонализация медицины предполагает широкое использование достижений науки, техники и технологии, что нашло своё отражение в перечне приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, где упоминаются персонализированная медицина, высокотехнологичное здравоохранение и технологии здоровьесбережения.

Сегодня медицина и здравоохранение претерпевают масштабные изменения. По сути, происходит революционный скачок, переход от медицины лечения к так называемой 4П-медицине — персонализированной, профилактической, превентивной и партисипативной. Весной 2018 г. приказом Минздрава России была утверждена концепция такой медицины, заложены основы и принципы её развития:

- внедрение индивидуального подхода к пациенту, в том числе до появления у него заболевания;
- досимптоматическое прогнозирование развития заболеваний и их профилактика, повышение эффективности традиционных методов лечения путём персонализации их применения;
- использование индивидуально производимых персонализированных средств лечения.

В реализации этих направлений существенную роль играют научные исследования, которые стимулируют появление новых технологий в интересах практического здравоохранения. Сегодня в число приоритетов медицинской науки включаются:

- установление молекулярных механизмов патогенеза заболеваний;
- поиск новых молекулярных мишеней;
- создание животных моделей заболеваний человека, в том числе с применением технологий направленного редактирования генома;
- доклинические исследования лекарственных препаратов;
- выявление генетических особенностей и предрасположенностей к развитию заболеваний и ассоциированных с ними значимых факторов риска;
- разработка мер профилактики, поиск информативных биомаркеров заболеваний, преимущественно неинвазивных;
- персонализация лечения, в том числе при применении таргетных лекарственных препаратов, выбор оптимальных терапевтических схем.

Среди направлений технологического развития в интересах здравоохранения можно отметить технологии химерных антигенных рецепторов, разработку биомедицинских клеточных продуктов, онколитических вирусов, персонализированных противоопухолевых терапевтических вакцин,

средств направленной доставки лекарственных препаратов, таргетную иммунотерапию на основе моноклональных антител, в том числе оригинальных ингибиторов иммунных точек контроля.

Ещё 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 придаётся 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.

Большие перспективы связываются с биомедицинским направлением, включая биосовместимые матрицы, в том числе с программированной биологической активностью, клеточную и тканевую инженерию, а также индивидуальные 3D-эндопротезы, создаваемые с применением аддитивных технологий.

Отдельным крупным направлением развития здравоохранения должны стать применение цифровых технологий, активное развитие систем искусственного интеллекта как систем поддержки принятия врачебных решений, формализация и активизация в сложных областях диагностики. Бурно развивается такое перспективное направление, как дистанционные методы диагностики, в том числе удалённый мониторинг здоровья пациентов.

В современных условиях перед Министерством здравоохранения РФ стоит задача обеспечить скорейшее внедрение новых методов и технологий в практическую медицину. Поэтому важной составляющей инновационного развития здравоохранения являются формирование и постоянная корректировка нормативно-правового поля для внедрения и обращения инноваций. При этом первоочередная задача Минздрава России — обеспечение безопасности для пациентов применяемых методов и технологий. Это безусловный приоритет.

Изменения, которые вносятся в законодательство с целью ускорения доступа пациентов к самым современным методам лечения, должны га-

рантировать, что на рынки будут допущены только безопасные методы и технологии, медицинские изделия и биомедицинские клеточные продукты, обладающие доказанной эффективностью.

Проведённая в последние годы Министерством здравоохранения РФ работа уже создала благоприятные условия для ускоренного внедрения инноваций в практическое здравоохранение. Срок проведения экспертизы лекарственных препаратов для оценки их качества и эффективности у нас — один из самых коротких в международной практике. Для медицинских изделий также установлен один из самых коротких сроков государственной регистрации. Чтобы обеспечить применение биомедицинских клеточных продуктов с доказанной биобезопасностью и эффективностью принят Федеральный закон "О биомедицинских клеточных продуктах", регулирующий отношения в этой области, сформирована законодательная база для его реализации.

В ответ на запрос практического здравоохранения в условиях всё большей персонализации диагностики и лечения, в первую очередь с использованием молекулярно-генетических и иных диагностических тестов, Минздравом России с привлечением профессионального экспертного сообщества предложен проект поправок в Федеральный закон № 323 "Об охране здоровья граждан", регламентирующий порядок проведения диагностических тестов, которые разработаны непосредственно в медицинском учреждении, без их государственной регистрации, в упрощённом режиме. В ближайшее время законопроект будет представлен на общественное обсуждение.

Реализация приоритета Стратегии научно-технологического развития по персонализированной медицине в формате межведомственного взаимодействия, с его синхронизацией с национальными проектами "Здравоохранение" и "Наука" — необходимое условие достижения амбициозных целей в ближайшие шесть лет. Сложившееся взаимодействие Министерства здравоохранения РФ и Российской академии наук должно расширяться и укрепляться, способствуя появлению новых практически эффективных решений в сфере здравоохранения в интересах российского народа.

SPEECH OF THE DEPUTY MINISTER OF HEALTH OF THE RUSSIAN FEDERATION S.A. KRAEVOY

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: population mortality reduction, National Project "Healthcare," personalized medicine, digitalization of healthcare, biomedical technologies, federal law "On fundamental healthcare principles in the Russian Federation".

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОТИВОТУБЕРКУЛЁЗНЫХ ПРЕПАРАТОВ, АКТИВНЫХ В ОТНОШЕНИИ ШТАММОВ С МНОЖЕСТВЕННОЙ ЛЕКАРСТВЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

© 2019 г. В.Н. Даниленко

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова Российской академии наук, Москва, Россия

E-mail: valerid@vigg.ru

Поступила в редакцию 05.02.2019 г.

Поступила после доработки 06.02.2019 г.

Принята к публикации 20.02.2019 г.

Оценивая угрозы, связанные с 12 наиболее опасными инфекционными заболеваниями, Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рассматривает в качестве наиболее приоритетной проблемы борьбу с отличающимися множественной/широкой лекарственной устойчивостью (МЛУ/ШЛУ) формами возбудителя туберкулёза — *Mycobacterium tuberculosis*. Количество случаев заболеваний, обусловленных МЛУ/ШЛУ формами возбудителя, постоянно растёт как во всём мире, так и в России, несмотря на достигнутые в нашей стране определённые успехи по сокращению смертности от туберкулёза. Положение усугубляется ухудшением иммунного статуса населения, что вызвано распространением ВИЧ-инфекции, гепатитов, диабета II типа, депрессий и другими факторами, в частности ростом интенсивности миграционных процессов. Предлагаемое в статье решение предполагает комплексный междисциплинарный подход, включающий разработку: во-первых, диагностических наборов на основе принципиально новых технологий, которые позволят выявлять весь спектр генов, ответственных за развитие лекарственной устойчивости, а также эпидемиологически опасные мутантные линии туберкулёза как в клинических, так и в полевых условиях, обеспечивая контроль реальной эпидемиологической ситуации в конкретных регионах России; во-вторых, антибиотиков с новым механизмом действия, активных в отношении МЛУ/ШЛУ штаммов возбудителя, в том числе ингибирующих вирулентность; в-третьих, генно-инженерных вакцин, при создании которых будут учтены существующий негативный мировой опыт и новые научные подходы, в том числе предложенные в России; в-четвёртых, нового класса адъювантов для вакцин на основе сформированной в России коллекции пробиотических штаммов лактобактерий и бифидобактерий с селективными иммуномодулирующими свойствами. Реализация этих задач предполагается в рамках работы консорциума "МЛУ/ШЛУ Туберкулёз", который объединил лучших специалистов — генетиков, микробиологов, иммунологов, биоинформатиков, медицинских химиков и клиницистов 15 институтов, принадлежащих к четырём ведомствам (Министерство науки и высшего образования РФ, Министерство здравоохранения РФ, Роспотребнадзор, Федеральное медико-биологическое агентство).

Ключевые слова: *Mycobacterium tuberculosis*, множественная лекарственная устойчивость, МЛУ/ШЛУ, диагностики, антибиотики, вакцины, адъюванты.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895427-435>

Распространение форм возбудителей бактериальных инфекционных заболеваний с множественной/широкой лекарственной устойчивостью (МЛУ/ШЛУ) — нарастающая глобальная угроза [1]. Неспособность крупнейших фармацевтических компаний и специализированных государственных структур найти адекватный ответ путём создания новых лекарственных

средств и технологий, активных в отношении возбудителей с множественной и широкой лекарственной устойчивостью, заставило ООН обратиться к руководству государств всего мира с призывом объединить усилия в этой области и сделать данную проблему одним из приоритетных направлений деятельности Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Согласно оценкам ВОЗ, среди 12 наиболее опасных инфекционных нозологий формы возбудителя туберкулёза — *Mycobacterium tuberculosis* — с множественной и широкой лекарственной устойчивостью

ДАНИЛЕНКО Валерий Николаевич — доктор биологических наук, заведующий отделом генетических основ биотехнологии ФГБУН ИОГен им. Н.И. Вавилова РАН.

(МЛУ/ШЛУ-ТБ) требуют самого пристального внимания. В 2017 г. в мире число заболевших туберкулёзом составило 10,5 млн человек, число умерших приблизилось к 2 млн [1]. В России при определённых успехах по снижению смертности от туберкулёза количество случаев заболеваний, обусловленных МЛУ/ШЛУ формами возбудителя, постоянно растёт, аналогичная тенденция характерна и для мира в целом [2–4]. Интенсивное применение антибиотиков, изменение иммунного статуса населения (вызванное, в частности, распространением ВИЧ-инфекции, гепатитов, диабета II типа, депрессий и т. д.), трансформация условий жизни, стрессы и интенсивная миграция населения [5] выступают теми селективными факторами, которые приводят к отбору и появлению новых мутантных форм *M. tuberculosis*, отягощённых МЛУ/ШЛУ-фенотипом и адаптированных к различным группам населения. В разных регионах — в Африке (ЮАР), Азии (Китай, Иран, Казахстан), Европе (Россия, Румыния, Швеция) — обнаружены "молодые" сублинии *M. tuberculosis*. Они агрессивно захватывают всё новые территории и представляют опасность прежде всего для групп населения с пониженным иммунитетом, в том числе для детей. Как правило, все эти эпидемиологически опасные сублинии характеризуются МЛУ/ШЛУ устойчивостью [5, 6]. Увеличение числа случаев потери трудоспособности и рост смертности в связи с быстрым распространением МЛУ/ШЛУ возбудителя туберкулёза и угрозами, которые он несёт для групп населения с пониженным иммунитетом, в скором будущем могут стать социально опасным явлением.

Борьба с МЛУ и ШЛУ-ТБ осложняется тем, что мировое научное сообщество на современном уровне знаний не может объяснить генетические механизмы и причины необычно высокой частоты возникновения описанных эпидемиологически опасных форм туберкулёза. Системные научные проблемы возникли в мире и при создании генно-инженерных вакцин и адъювантов к ним. За последние 40 лет удалось создать лишь один новый противотуберкулёзный антибиотик — беквацилин, однако, хотя он лишь недавно был внедрён в медицинскую практику, уже обнаружены лекарственно устойчивые к нему штаммы [7]. Имеющиеся сегодня в мире диагностикумы, в том числе в нашей стране, тоже не отвечают существующим требованиям и задачам.

Из сказанного становится очевидным, что проблемы в этой области науки и медицинской практики носят междисциплинарный и комплексный характер, требуя взаимосвязанных исследований и разработок, проводимых

единой командой учёных, которые представляют разные дисциплины и направления — генетику, медицинскую микробиологию, иммунологию, химию, физику электронных систем, биоинформатику, медицину. Такой консорциум, состоящий из 15 профильных организаций, был создан в России в апреле 2017 г. и получил название "МЛУ/ШЛУ Туберкулёз". Консорциум объединяет лучших специалистов четырёх ведомств — Министерства науки и высшего образования РФ, Министерства здравоохранения РФ, Роспотребнадзора и Федерального медико-биологического агентства. В течение первых полутора лет работы консорциум подготовил комплексный план научных исследований (КПНИ) МЛУ/ШЛУ форм туберкулёза. Цель проекта — разработка комплексного подхода к борьбе с туберкулёзом, вызванным штаммами МЛУ и ШЛУ-ТБ. В 2017 г. была принята Стратегия предупреждения распространения антибиотикорезистентности в Российской Федерации на период до 2030 года. Одна из прописанных в документе задач — изучение механизмов возникновения антимикробной резистентности и разработка противомикробных препаратов и альтернативных методов, технологий и средств профилактики, диагностики и лечения инфекционных заболеваний человека, животных и растений. Именно на решение этой задачи направлен проект. Такое решение предполагает разработку:

- дианалитиков для выявления инфекций *M. tuberculosis* и генотипического определения их лекарственной устойчивости возбудителя, для чего потребуется создать новую технологическую платформу, которая будет включать систему для экспресс-скрининга присутствия *M. tuberculosis* в биологических образцах людей при использовании системы бинарных дезоксирибозимных сенсоров, а также систему молекулярной экспресс-диагностики *M. tuberculosis* с МЛУ/ШЛУ в клинических образцах с использованием технологии "лаборатории на чипе";

- противотуберкулёзных антибиотиков нового механизма действия, в том числе ингибирующих вирулентность возбудителя;

- новых генно-инженерных вакцин, в том числе на основе вирусоподобных частиц и мукозального действия;

- адъювантов на основе штаммов лактобацилл и бифидобактерий с селективной иммуномодулирующей активностью для использования с интраназальной противотуберкулёзной вакциной.

Эволюция, классификация и идентификация эпидемиологически опасных линий возбудителя туберкулёза *M. tuberculosis*. Сегодня классификация *M. tuberculosis* выделяет 7 основных линий и несколько десятков сублиний [8], интенсив-

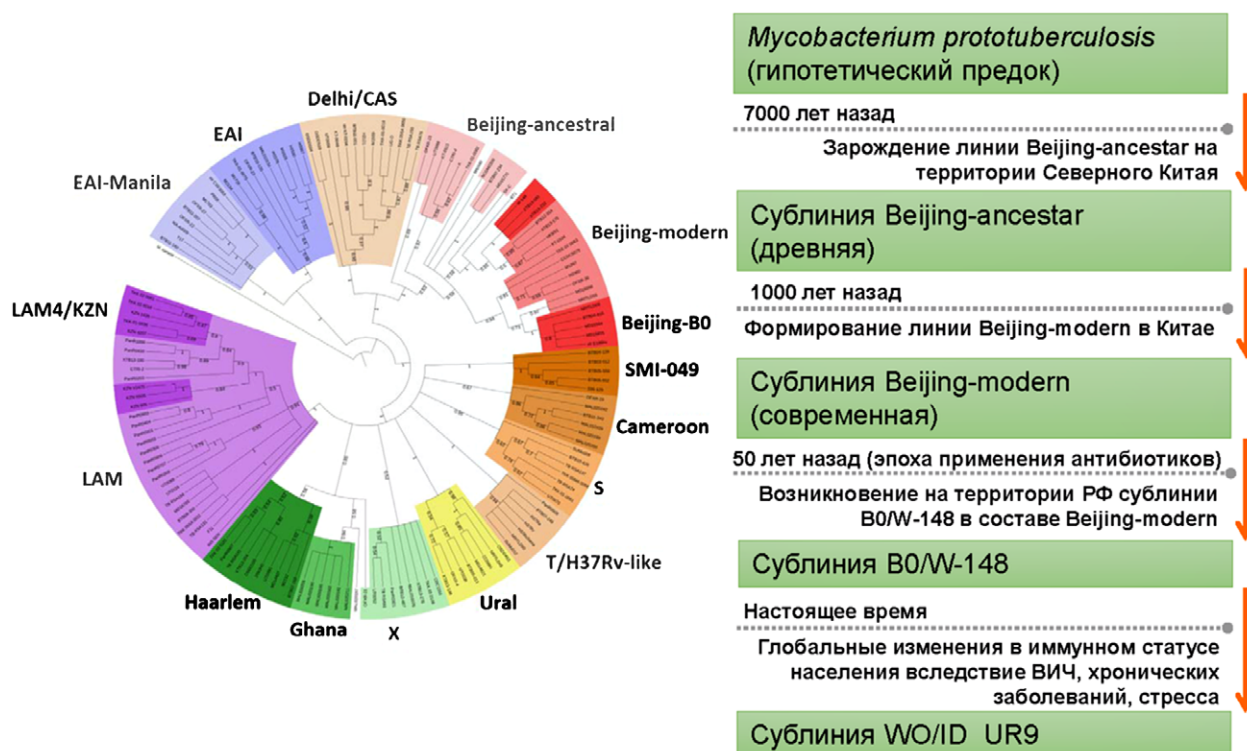


Рис. 1. Классификация *M. tuberculosis* на различные линии и сублинии и эволюция линии Beijing

но распространяющихся и эволюционирующих на разных континентах. Основные линии и сублинии *M. tuberculosis* и пример эволюции одной из линий Beijing представлены на рисунке 1. Около 50 лет назад на территории России появилась сублиния B0/W-148 [9], почти все представители которой являются МЛУ-штаммами. Данная сублиния интенсивно распространяется по значительной части территории России — Сибири, Уралу, Поволжью. Возникает вопрос, в чём причина такой её "успешности", ответственны ли за это только фенотип устойчивости и ряд используемых в регионе антибиотиков или имеются и другие факторы отбора?

Мы попытались ответить на перечисленные вопросы, изучая возникновение SNP-мутаций, ассоциированных с группами пациентов с нарушенным иммунологическим статусом — иммунодефицитом (ИД) [10–12]. Удалось обнаружить сублинию, представленную 12 штаммами с мутацией поликетид синтазы I — *pks15*, которая приводит к образованию одной рамки считывания двух генов и синтезу гликопептида с иммуномодулирующей активностью. Эта сублиния, обозначенная WO/ID UR9, чётко ассоциируется с группой пациентов с ИД.

Ранее подобные мутации были обнаружены у ряда штаммов линий EAI, Beijing, Delhi-Central-Asian [13]. Авторы задавались вопросом: какой селективный фактор у независимых линий на раз-

ных континентах приводит к возникновению сходных мутаций? Один из возможных кандидатов на эту роль — пониженный иммунный статус определённых групп населения. Для изучения механизмов отбора опасных мутаций необходимы масштабные направленные исследования их появления, отбора и поддержания в разных регионах мира и России у различных линий. Выявление таких мутантов — одна из задач предлагаемого проекта. Взаимодействия в процессе эволюции постоянно генетически изменяющегося патогена *M. tuberculosis* и организма хозяина (генетически и эпигенетически гетерогенного на уровне популяций) — сложнейшая комплексная проблема, которую мы не можем не учитывать, разрабатывая и предлагая различные схемы и методы профилактики и лечения туберкулёза. Данная область пока далека от подходов персонализированной медицины, но думать и действовать в этом направлении необходимо. Факторы генетической гетерогенности *M. tuberculosis* и организма хозяина на различных уровнях (иммунной системы, макрофагов и др.) необходимо учитывать при создании генно-инженерных вакцин и антибиотиков. Ключевым моментом становится молекулярно-генетическая диагностика SNP-полиморфизмов в генах вирулентности и лекарственной устойчивости *M. tuberculosis* и коррелирующих с предрасположенностью к заболеванию туберкулёзом генах человека.

Сложность картины взаимодействия всех факторов и динамичность появления и распространения сублиний *M. tuberculosis* с высокой вирулентностью и лекарственной устойчивостью требуют, чтобы разработка и применение молекулярно-генетических методов в диагностике происходила на двух уровнях. Первый — максимально широкое использование в клинической практике существующих и близких к внедрению диагностикумов [14]. Второй, стратегически важный уровень предполагает использование принципиально новых технологий детектирования мутантных генов лекарственной устойчивости и вирулентности [14, 15], способных благодаря своим диагностическим и экономическим показателям уже через 5–7 лет занять достойное место на рынке профильных диагностикумов. Поэтому в рамках проекта "Разработка технологической платформы и создание на её основе инновационных диагностикумов, противотуберкулёзных препаратов: антибиотиков и других антибактериальных средств, вакцин, адъювантов, активных в отношении штаммов *Mycobacterium tuberculosis* с множественной лекарственной устойчивостью" предлагается в первые 2–3 года провести комплексные генетико-эпидемиологические исследования по созданию каталога мутантных генов вирулентности и устойчивости в различных регионах РФ. Обнаружение мутаций в генах вирулентности и лекарственной устойчивости, ассоциированных с сублиниями *M. tuberculosis*, которые угрожают группам населения с нарушенным иммунитетом, предполагает реализацию следующих этапов:

- формирование и комплексную характеристику когорт пациентов из основных регионов России — Центрального, Северо-Западного, Уральского, Западно-Сибирского и Восточно-Сибирского округов;
- организацию центра по координации и унификации отбора и характеристике пациентов;
- создание криобиобанка для хранения и последующего анализа биологического материала пациентов (ДНК *M. tuberculosis*, ДНК крови, ДНК микробиоты ЖКТ);
- организацию серверного центра по хранению и биоинформатическому анализу геномных и метагеномных данных.

Разработка диагностикумов для выявления инфекций *M. tuberculosis* и генотипического определения их лекарственной устойчивости. Первый по очерёдности и значимости шаг в борьбе с туберкулёзом — быстрая и точная диагностика активной формы туберкулёза, имеющая определяющее значение для разработки эффективных стратегий лечения. Традиционные методы идентификации микобактерий основаны на окраши-

вании образцов для обнаружения кислотоустойчивых бацилл с последующим культивированием на твёрдой среде и биохимическим тестированием. Однако для выделения и накопления патогена требуются особые условия биологической безопасности, соблюдение которых невозможно во многих учреждениях. К существенным недостаткам метода относится также скорость проведения исследования: 1–3 недели для анализа культуры в жидкой питательной среде и 4–8 недель — в плотной. Таким образом, определение вида изолята стандартными методами занимает до 2 месяцев, в течение которых лечение может осуществляться неподходящими антибиотиками.

В настоящее время на рынке представлены достаточно эффективные инструменты для экспресс-диагностики возбудителя и анализа на чувствительность *M. tuberculosis* к противомикробным препаратам [14], например, такие как BD MGIT TBc Identification Test и BD BACTEC MGIT Kit. Однако их широкое использование ограничено потребностью в специализированном оборудовании, дорогостоящих реагентах и специально обученном персонале. Разрешённый на территории Российской Федерации с июня 2018 г. иммуноферментный тест Квантиферон (QuantiFERON) тоже имеет ряд ограничений и недостатков, главный из них — низкая специфичность анализа. Обозначенную проблему решают тест-системы [14], в основе которых лежит амплификация нуклеиновых кислот, к ним принадлежит в том числе Xpert MTB/RIF system. Этот подход тоже имеет ряд ограничений, включая чувствительность к ингибиторам в образцах, необходимость специального обучения персонала и дорогостоящих реагентов. Упомянутая система Xpert MTB/RIF сегодня стоит около 32 долл., а каждый тест с её использованием — примерно 10 долл. Другой недостаток системы — её неспособность детектировать устойчивость к другим антибиотикам, кроме рифампицина.

Исследования в области разработки быстрых, точных и простых в эксплуатации систем диагностики лекарственно устойчивых форм туберкулёза ведутся во многих странах мира [15, 16]. В рамках представляемого проекта предполагается разработать и внедрить в практику новую технологическую платформу для экспрессной молекулярной диагностики МЛУ и ШЛУ-ТБ в клинических образцах (мокроте, моче) при использовании системы бинарных дезоксирибозимных сенсоров [17]. Эта технология позволит одновременно обнаруживать ДНК/РНК МЛУ-ТБ непосредственно в клинических образцах и идентифицировать точечные мутации, обуславливающие формирование множественной и широкой лекарственной устойчивости.

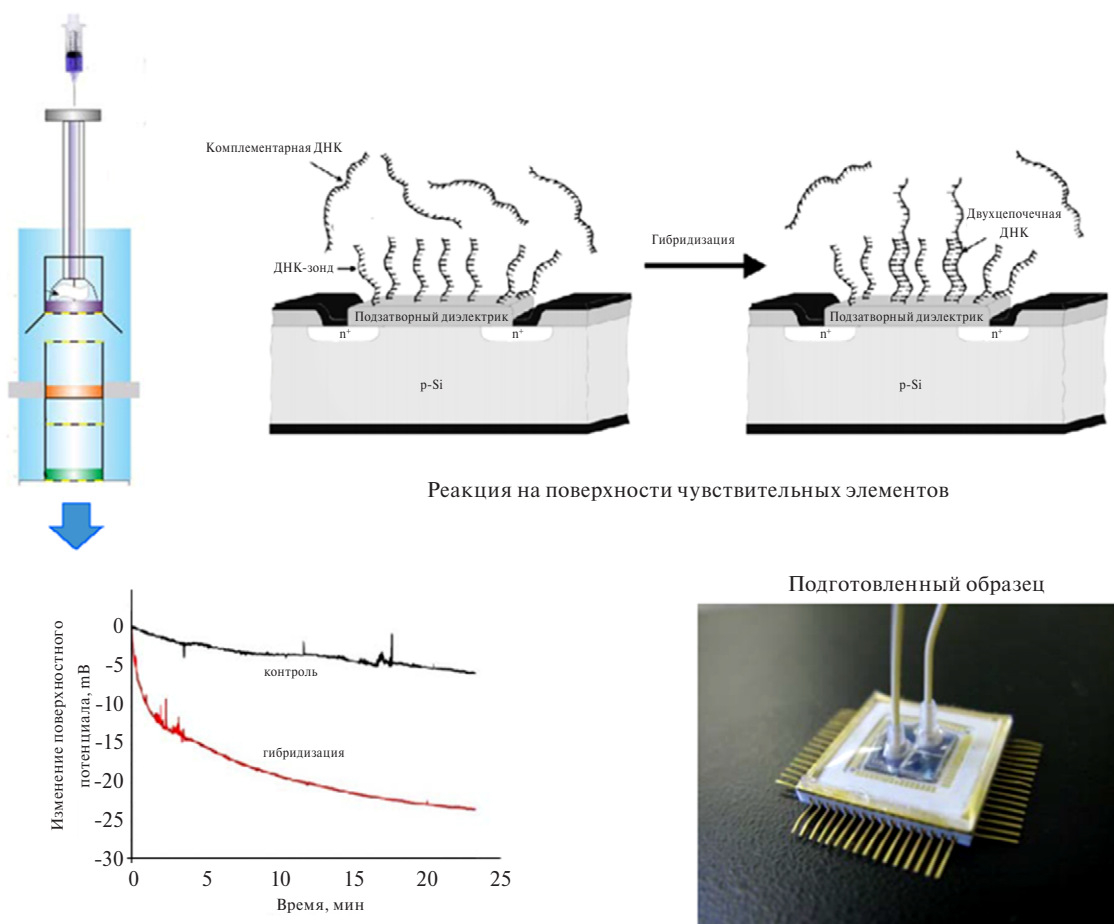


Рис. 2. Определение устойчивости к антибиотикам на основе картриджа с интегрированной пробо-подготовкой и микроэлектронного чипа

Схема представлена А.Е. Кузнецовым (НПК "Технологический центр", г. Москва, Зеленоград), участником проекта "МЛУ/ШЛУ Туберкулёз"

Диагностическая система (рис. 2) основана на специфическом расщеплении РНК каталитически активным дезоксирибозимом (ДНКзимом), формирующимся только в присутствии мишени в образце. Специфичность сенсора значительно повышается благодаря тому, что его сборка происходит в результате гибридизации структур к двум участкам мишени (бинарная система). После сборки сенсора ДНКзим запускает реакцию на поверхности полевого транзистора, который сигнализирует о присутствии в образце мишени. Так как на одном микроэлектронном чипе может быть сформирован массив полевых структур, возможно реализовать мультианализ, разместив индивидуальные ДНКзимовые сенсоры на отдельных полевых структурах. Ключевыми параметрами создаваемой диагностической системы являются следующие: универсальность за счёт использования полевых полупроводниковых структур для детектирования мутаций на основе стандартных технологий микро- и нанoeлектроники; возможность прямого детектирования раз-

личных взаимодействий (ДНК-ДНК, ДНК-РНК, ДНК-фермент) и реакций ферментативного и ДНК-катализа; закрытый характер системы и её малый объём, защищающие оператора от контакта с патогеном; параллельное детектирование десятков реакций; высокая кинетика реакций и малый расход реагентов, также обусловленные малым объёмом системы.

Создание противотуберкулёзных антибиотиков нового механизма действия, в том числе обладающих активностью ингибировать вирулентность туберкулёз/ВИЧ. Проблема лекарственной устойчивости туберкулёза и длительность современной противотуберкулёзной терапии приводят к необходимости разработки новых препаратов, способных преодолевать лекарственную устойчивость и/или сокращать сроки стандартной химиотерапии [18, 19]. Ещё одна проблема — значительная токсичность известных противотуберкулёзных препаратов, особенно при длительных схемах лечения, предусматривающих одновременное использование двух и более препаратов. Большую

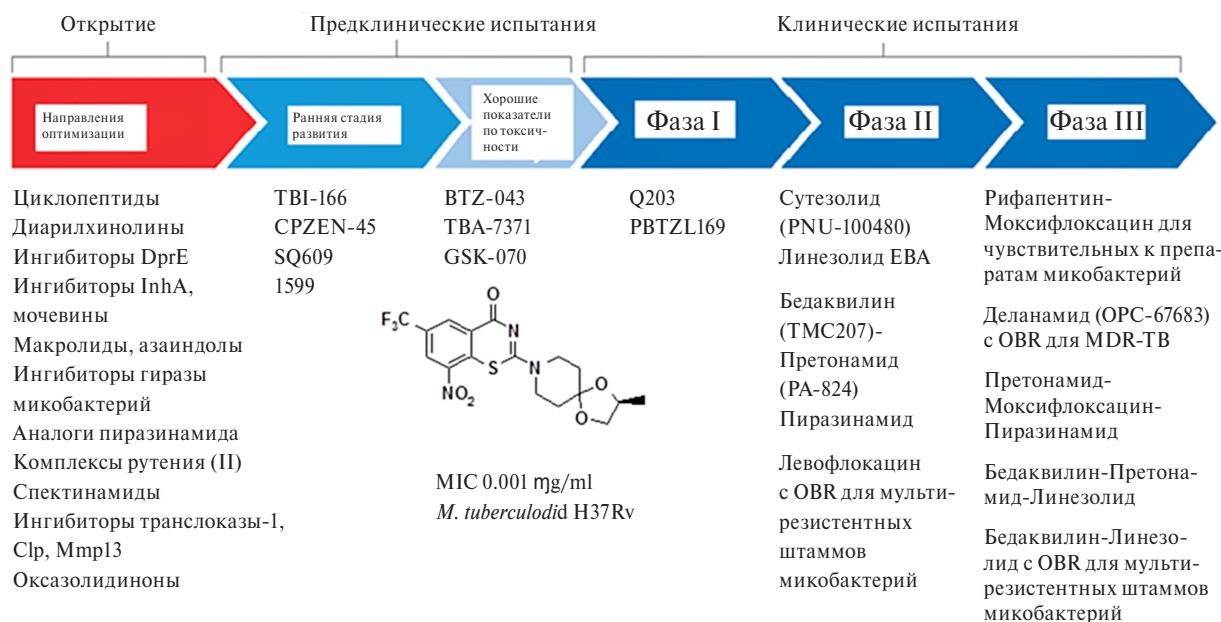


Рис. 3. Разработка новых противотуберкулёзных препаратов

обеспокоенность вызывает значительная гепатотоксичность противотуберкулёзных средств первого и второго ряда. Ситуация осложняется при лечении больных, которые, помимо туберкулёзной инфекции, имеют другие заболевания — вирусные (в частности, ВИЧ-инфекцию, гепатит) или аутоиммунные (например, сахарный диабет). Поэтому разработка новых эффективных, безопасных и доступных лекарств остаётся важным приоритетом [18–20]. Кроме того, возрастает роль полифункциональных (мультицелевых) лекарственных препаратов, активных в отношении нескольких мишеней, а также ингибирующих вирулентные свойства патогена.

Накопленный опыт (зачастую негативный) позволил разработать новую концепцию создания противотуберкулёзных лекарств, предполагающую реализацию ряда принципов и подходов:

- отбор классов низкомолекулярных соединений, ранее не описанных как противотуберкулёзные лекарства;
- получение полусинтетических соединений с новым механизмом действия из природных антибиотиков;
- идентификация и описание новых биомишеней;
- раннее выявление механизма действия;
- разработка бактериальных тест-систем для скрининга сфокусированных химических библиотек с установленным механизмом действия;
- ранняя оценка токсичности новых соединений;
- отбор соединений, способных поражать 2–3 биомишени *M. tuberculosis*, в том числе белки вирулентности [5, 6, 12].

На рисунке 3 представлены некоторые разрабатываемые в мире противотуберкулёзные препараты. В рамках предлагаемого отечественного проекта предполагается разработка следующих препаратов: химическим синтезом — фторхинолоны, азоксипримидины, бензотиазины, азоксизины, бензодиазепины, азоксотетразины; конъюгаты пурина с аминокислотами; на основе природных соединений — SQ109 с добавлением природных монотерпеноидов; производные склареола; ингибиторы вирулентности *M. tuberculosis* различных классов. Отметим, что российские учёные имеют значительный опыт в разработке противотуберкулёзных препаратов [21, 22].

Разработка новых генно-инженерных вакцин. В течение последних 25 лет интенсивных исследований мировому научному сообществу не удалось создать новой противотуберкулёзной вакцины. BCG вакцина, используемая с 1921 г. и проявляющая по различным причинам всё меньшую эффективность, — единственная используемая в клинической практике. Вместе с тем мировое научное сообщество высоко оценивает вероятность создания в ближайшее время генно-инженерных вакцин [23–25]. Сегодня ряд вакцин находятся на стадии клинических исследований и значительно большее число — на стадии доклинических разработок. Детальный анализ состояния исследований по созданию противотуберкулёзных вакцин и существующих проблем в этой области представлен в обзорах [26, 12].

Группа экспертов — участников российского Консорциума "МЛУ/ШЛУ Туберкулёз" и меж-

дународного Консорциума TB Resist¹, разработала подходы к созданию генно-инженерных противотуберкулёзных вакцин, учитывающие полученные ранее новые знания в этой области:

- использование новых комбинаций антигенов, экспрессируемых на различных стадиях инфекционного процесса;
- использование при необходимости мутантных вариантов антигенов, которые характерны для эпидемиологически опасных сублиний, распространённых в конкретных регионах и среди определённых популяций населения;
- создание вакцин на основе вирусных платформ, в первую очередь вирусов, не связанных с человеком;
- разработка вакцинных форм для интраназального введения, стимулирующих мукозальную специфическую долговременную память;
- разработка адъювантов нового поколения для вакцин интраназального типа на основе пробиотиков лактобацилл и бифидобактерий.

Разработка адъювантов на основе штаммов лактобацилл и бифидобактерий с селективной иммуномодулирующей активностью для использования с интраназальной противотуберкулёзной вакциной. Одно из перспективных направлений поиска адъювантов, эффективных при стимуляции как антительного, так и клеточно-опосредованного иммунного ответа, — изучение бактериальных адъювантов на основе пробиотических бактерий или их компонентов. Об иммуностимулирующей и иммуномодулирующей функции бактериальных адъювантов свидетельствует повышение титра антител, возрастание активности Тц- и/или Тх-клеток после их введения. Опубликован ряд работ, показывающих адъювантное действие пробиотических бактерий лактобацилл и бифидобактерий при противовирусной, а также противострептококковой вакцинации [27]. В последние годы идентифицированы бактериальные адъюванты на основе молочнокислых бактерий, компоненты бактериальной стенки, фибронектин, связывающий белок 1 *Streptococcus pyogenes*, поверхностные флагеллины, которые способны индуцировать антительные ответы. Как представители комменсальной микрофлоры бифидобактерии и лактобациллы способны стимулировать реакции врождённого иммунитета и оказывать влияние на формирование адаптивного иммунного ответа, влияя на изменения профилей секреции как провоспалительных, так и противовоспалительных цитокинов [12, 28].

Исследование иммуномодулирующей активности штаммов бактерий проводится обычно на клеточных культурах из клеток кишечника (Сасо-2, НТ-29) или иммунцитов (ЕС-6, ТНР-1) и лабораторных животных (здоровых, с дефектами иммунной системы, гнотобионтов, а также с экспериментальной инфекционной и неинфекционной патологией желудочно-кишечного тракта). С использованием различных методических подходов показано, что разные штаммы бифидобактерий и лактобацилл и их компоненты оказывают различный по степени выраженности иммуномодулирующий эффект, то есть действие является штаммоспецифическим [28]. Для профилактики респираторных инфекций, к которым можно отнести и лёгочную форму туберкулёза, в последнее время всё чаще обращаются к мукозальной вакцинации, при ней индукция более эффективного иммунного ответа происходит не за счёт более длительного высвобождения антигена, а благодаря активации мукозальной иммунной системы перед и/или во время вакцинации. Становится актуальным использование параллельно мукозальных адъювантов, способных индуцировать антительные ответы на поверхности слизистых оболочек. В ряде работ указывается на применение различных штаммов пробиотических бактерий, введённых как адъюванты интраназально. Лактобациллы, введённые интраназально, повышали системный и респираторный иммунитет и устойчивость к респираторно-синцитиальной инфекции. Можно утверждать, что использование иммуномодулирующего и адъювантного эффекта пробиотических микроорганизмов для усиления иммунного ответа и повышения резистентности организма к респираторным инфекциям, в том числе туберкулёза, — перспективное направление. При разработке вакцин и бактериальных адъювантов к ним нельзя не учитывать иммунный статус, в том числе его гетерогенность у разных групп населения, а также глобальное влияние климатической микробиоты на его формирование и поддержание. Хотя ещё в 2014 г. был опубликован обзор на эту тему [29], тем не менее состоянию микробиоты при вакцинации по-прежнему не уделяется серьёзного внимания.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена при поддержке гранта № 0112-2019-0002, подтема "Генетический контроль лекарственной устойчивости и вирулентности микобактерий" в рамках Государственного задания "Генетические технологии в биологии, медицине, сельскохозяйственной и природохозяйственной деятельности".

¹ <https://projects.iq.harvard.edu/tbresist/home>

ЛИТЕРАТУРА

1. WHO Global Tuberculosis Report 2017. WHO, 2017.
2. Lange C., Chesov D., Heyckendorf J. et al. Drug-resistant tuberculosis: An update on disease burden, diagnosis and treatment // *Respirology*. 2018. V. 23(7). P. 656–673.
3. Prozorov A.A., Zaichikova M.V., Danilenko V.N. *Mycobacterium tuberculosis* mutants with multidrug resistance: history of origin, genetic and molecular mechanisms of resistance, and emerging challenges // *Russian Journal of Genetics*. 2012. V. 48(1). P. 1–14.
4. Шур К.В., Беккер О.Б., Зайчикова М.В. и др. Генетические аспекты лекарственной устойчивости и вирулентности *Mycobacterium tuberculosis* // *Генетика*. 2018. № 54(12). С. 1363–1375.
5. Prozorov A.A., Fedorova I.A., Bekker O.B., Danilenko V.N. The Virulence Factor of *Mycobacterium tuberculosis*: Genetic Control, New Conceptions // *Russian Journal of Genetics*. 2014. V. 50(8). P. 775–797.
6. Mikhecheva N.E., Zaychikova M.V., Melerzanov A.V., Danilenko V.N. A nonsynonymous SNP catalog of *Mycobacterium tuberculosis* virulence genes and its use for detecting new potentially virulent sublineages // *Genome Biology and Evolution*. 2017. V. 9(4). P. 887–899.
7. Chahine E.B., Karaoui L.R., Mansour H. Bedaquiline: a novel diarylquinoline for multidrug-resistant tuberculosis // *Ann. Pharmacother*. 2014. V. 48(1). P. 107–115.
8. Prozorov A.A., Danilenko V.N. Mycobacteria of the tuberculosis complex: Genomics, molecular epidemiology, and evolution trends // *Biology Bulletin Reviews*. 2011. V. 1(6). P. 483–495.
9. Merker M., Blin C., Mona S. et al. Evolutionary history and global spread of the *Mycobacterium tuberculosis* Beijing lineage // *Nat Genet*. 2015. V. 47(3). P. 242–249.
10. Шур К.В., Умпелева Т.В., Беккер О.Б. и др. Создание выборки клинических изолятов *Mycobacterium tuberculosis* линии Beijing-b0 и определение предикторов иммунной дисфункции пациентов-источников // *Вестник РГМУ*. 2018. № 7(3). С. 24–30.
11. Zaychikova M., Mikhecheva N., Belay Y. et al. Single nucleotide polymorphisms of Beijing lineage *Mycobacterium tuberculosis* toxin-antitoxin system genes: their role in the changes of protein activity and evolution // *Tuberculosis*. 2018. V. 112. P. 11–19.
12. Даниленко В.Н., Зайчикова М.В., Дьяков И.Н. и др. *Mycobacterium tuberculosis*: проблемы лекарственной устойчивости, вирулентности и подходы к их решению // *Вестник РГМУ*. 2018. № 7(3). С. 5–12.
13. Pang J.M., Layre E., Sweet L. et al. The polyketide Pks1 contributes to biofilm formation in *Mycobacterium tuberculosis* // *J. Bacteriol*. 2012. V. 194(3). P. 715–721.
14. Pai M., Nicol M.P., Boehme C.C. Tuberculosis Diagnostics: State of the Art and Future Directions // *Microbiol. Spectr*. 2016. V. 4(5). P. 1–2.
15. Harries A.D., Kumar A.M.V. Challenges and Progress with Diagnosing Pulmonary Tuberculosis in Low- and Middle-Income Countries // *Diagnostics (Basel)*. 2018. Nov. 23; 8(4). pii: E78.
16. Zaichikova M.V., Zakharevich N.V., Sagaydak M.O. et al. *Mycobacterium tuberculosis* type II toxin-antitoxin systems: a genetic polymorphism, functional properties and the possibility of using for genotyping // *Journal PLoS One*. 2015. e0143682. P. 1–15.
17. Bengtson H.N., Homolka S., Niemann S. et al. Multiplex detection of extensively drug resistant tuberculosis using binary deoxyribozyme sensors // *Biosens Bioelectron*. 2017. V. 94. P. 176–183.
18. Gaur P.K., Mishra S. New Drugs and Vaccines for Tuberculosis // *Recent Pat. Antiinfect Drug Discov*. 2017. V. 12(2). P. 147–161.
19. Igarashi M. Development of new antituberculosis drugs from natural products // *Biosci. Biotechnol. Biochem*. 2017. V. 81(1). P. 32–37.
20. Silva da P.B., Campos D.L., Ribeiro C.M. et al. New antimycobacterial agents in the pre-clinical phase or beyond: recent advances in patent literature (2001–2016) // *Expert Opin. Ther. Pat*. 2017. V. 27(3). P. 269–282.
21. Danilenko V., Simonov A., Lakatos S. et al. Search for Inhibitors of Bacterial and Human Protein Kinases Among Derivatives of Diazepines [1,4] Annelated with Maleimide and Indole Cycles // *Journal of Medicinal Chemistry*. 2008. V. 51. P. 7731–7736.
22. Bekker O.B., Sokolov D.N., Luzina O.A. et al. Synthesis and activity of (+) – and (–) – usnic acid derivatives containing 1,3-thiazole cycle against *Mycobacterium tuberculosis* // *Medicinal Chemistry Research*. 2015. V. 24(7). P. 2926–2938.
23. Vilaplana C., Cardona P.J. How Far Are we Away From an Improved Vaccine For Tuberculosis? Current Efforts and Future Prospects // *Arch. Bronconeumol*. 2018. V. 26. pii: S0300-2896(18)30446-0.
24. Schrager L.K., Harris R.C., Vekemans J. Research and development of new tuberculosis vaccines: a review. Version 1 // *F1000Res*. 2018. V. 7. P. 1732.
25. Zhu B., Dockrell H.M., Ottenhoff T.H.M. et al. Tuberculosis vaccines: Opportunities and challenges // *Respirology*. 2018. V. 23(4). P. 359–368.
26. Li Z., Zheng C., Terreni M. et al. Novel Vaccine Candidates against Tuberculosis // *Curr. Med. Chem*. 2018. V. 25. P. 1–2.
27. Kwak J.Y., Lamoué-Smith E.S.N. Can probiotics enhance vaccine-specific immunity in children and adults? // *Beneficial Microbes*. 2017. V. 8(5). P. 657–670.
28. Леонтьева Г.Ф., Крамская Т.А., Грабовская К.Б. и др. Использование лактобацилл в качестве адъювантов при интраназальной иммунизации химерной пневмококковой вакциной // *Медицинская иммунология*. 2016. № 18(6). С. 545–554.
29. Valdez Y., Brown E.M., Finlay B.B. Influence of the microbiota on vaccine effectiveness // *Trends Immunol*. 2014. V. 35(11). P. 526–537.

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL PLATFORM FOR CREATING INNOVATIVE ANTI-TB DRUGS EFFECTIVE AGAINST MULTI-DRUG-RESISTANT STRAINS

© 2019 V.N. Danilenko

Vavilov Institute of General Genetics of Russian Academy of Sciences (VIGG)

E-mail: valerid@vigg.ru

Received: 05.02.2019

Revised version received: 06.02.2019

Accepted: 20.02.2019

This article tackles the issue of the growing morbidity and mortality caused by multi-drug-resistant (extreme drug-resistant) tuberculosis (TB). This issue is aggravated by the alarming rise of immunocompromized patients and immigration worldwide. In order to solve this problem, an interdisciplinary approach is needed. Here we offer to: (1) develop innovative diagnostic techniques for identifying dangerous lineages of TB with mutations and drug resistance genes; (2) develop antibiotics with new modes of action effective against multiple drug resistance and extreme drug-resistant strains of TB and HIV; (3) develop new genetically engineered vaccines; and, (4) develop new vaccine adjuvants based on probiotic *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* strains, with selective immunomodulatory activity.

Keywords: multiple drug resistance TB, extreme drug-resistant TB, diagnosis, antibiotics, vaccines, vaccine adjuvants.

ВЫСТУПЛЕНИЕ АКАДЕМИКА РАН В.Г. АКИМКИНА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: туберкулёз, антибиотикорезистентный туберкулёз, множественная лекарственная устойчивость, диагностика.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895436-436>

Эпидемиологическая ситуация по туберкулёзу, как следует из доклада академика В.Н. Даниленко, должна сегодня рассматриваться в рамках более широкой проблемы антибиотикорезистентности. Согласно данным новой глобальной системы по надзору за устойчивостью к противомикробным препаратам, более 0,5 млн человек с подозрением на бактериальную инфекцию в 22 странах мира столкнулись с устойчивостью к антибиотикам. Антибиотикорезистентный возбудитель туберкулёза признаётся Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) одним из наиболее опасных и эпидемиологически значимых возбудителей. Туберкулёз занимает 9-е место среди 10 основных причин смертности в мире. По оценкам экспертов ВОЗ, ежегодно заболевают более 10 млн человек, каждый седьмой умирает. Более 1 млн человек одновременно болеют туберкулёзом и ВИЧ, из числа таких пациентов умирает каждый третий. Свыше 0,5 млн человек заболевают антибиотикорезистентным туберкулёзом, погибает каждый второй пациент. Прогнозируется, что к 2020 г. до двух третей бактериовыделителей будут иметь множественную лекарственную устойчивость и с ней будет связан каждый третий случай туберкулёза. При множественной лекарственной устойчивости вылечивается каждый второй, при широкой лекарственной устойчивости — лишь каждый четвёртый.

На профилактику и лечение туберкулёза и в целом на борьбу с ним ежегодно тратится более 12 млрд долл., тогда как потери от этого заболевания в развитых странах составляют от 4 до 7% национального валового продукта ежегодно. Поэтому ВОЗ ставит перед мировым сообществом достаточно амбициозные цели: к 2035 г. снизить заболеваемость туберкулёзом на 95% от показателя 2015 г. Для России достижение этого значения связано с выполнением целого ряда серьёзных задач.

Наша страна находится в списке 30 стран с высоким уровнем распространённости туберкулёза,

в том числе его первично резистентных форм. Благодаря усилиям Министерства здравоохранения РФ и противотуберкулёзной службы России уровень заболеваемости туберкулёзом за последние 10 лет снизился практически в 2 раза, а уровень смертности — в 3 раза. Однако при этом в 4 раза возрос уровень антибиотикорезистентности впервые выявляемых форм. Кроме того, увеличивается число пациентов, страдающих туберкулёзом в сочетании с ВИЧ-инфекцией.

Эффективная форма борьбы с туберкулёзом — его раннее выявление. В России зарегистрированы 7 различных систем для ПЦР-диагностики, сегодня идёт разработка новых систем диагностики туберкулёза на основе микроэлектронных чипов, которые позволят повысить автоматизацию проведения анализа, что снизит его стоимость, и защитить персонал лаборатории от ошибок.

Роспотребнадзор в настоящее время организует систему мониторинга антибиотикорезистентности, обусловленной применением антибиотиков, во-первых, в системе медицинских организаций Министерства здравоохранения РФ и, во-вторых, в пищевой промышленности. Использование антибиотиков в пищевой промышленности — не менее важная проблема, чем распространённость антибиотикотерапии. И на базе ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора создан центр по изучению остаточного количества антибиотиков в продовольственном сырье и пищевых продуктах и антибиотикорезистентности бактерий, которая таким образом формируется.

Кроме того, сегодня Роспотребнадзор совместно с Министерством здравоохранения РФ реализует Пилотный проект по обеспечению эпидемиологической безопасности при оказании медицинской помощи. На базе ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора создана координационная группа по реализации данного проекта. Производственные мощности и научный потенциал института позволяют решить задачи по оптимизации диагностики туберкулёза.

SPEECH OF ACADEMICIAN OF RAS V.G. AKIMKIN

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: tuberculosis, antibiotic-resistant tuberculosis, multidrug resistance, diagnostics.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ

© 2019 г. А.А. Кокошин

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: dekanat@fmp.msu.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 03.12.2018 г.

Принята к публикации 25.12.2018 г.

В статье в сжатом виде представлены некоторые случаи применения систем искусственного интеллекта (интеллектуальных систем) в целях надёжного предупреждения и оптимальной реакции на техногенные и природные чрезвычайные ситуации, решения комплекса задач информационной безопасности и кибербезопасности, повышения боеспособности Вооружённых сил.

Ключевые слова: системы и технологии искусственного интеллекта, обучение на прецедентах, техногенные и природные чрезвычайные ситуации, информационная безопасность и кибербезопасность, боеспособность Вооружённых сил.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895437-439>

При оценке перспектив исследований в области искусственного интеллекта (ИИ) необходимо учитывать как долгосрочные, так и среднесрочные тенденции в этой сфере. Сегодня мы переживаем третью волну в развитии искусственного интеллекта, 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 некоторых странах по крайней мере со второй половины 1950-х годов. За это время они прошли через ряд подъёмов и спадов, в том числе применительно к проблемам безопасности. Нельзя не упомянуть, что многие специалисты обоснованно обращают внимание на целый ряд существенных 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, ин-

форматики, лингвистики и когнитивных наук. Методы искусственного интеллекта применяются в тех областях, где приходится действовать, не имея точных инструментов решения проблемы, и 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 широта 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 точ-

КОКОШИН Андрей Афанасьевич — академик РАН, декан факультета мировой политики МГУ им. М.В. Ломоносова, 6-й секретарь Совета безопасности РФ.

ки зрения исключительно важно формирование как можно более детального и исчерпывающего набора описаний прецедентов. Во многих случаях это весьма сложная ресурсоёмкая задача, требующая тесного взаимодействия учёных и специалистов разного профиля. Для эффективной работы систем искусственного интеллекта в сфере безопасности необходима первичная обработка огромных объёмов 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, определённого 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.

Надёжное 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 (аэрофотосъёмка, камеры наружного наблюдения, автомобильные видеорегистраторы, иные средства фото- и видеодификации;

- 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.

Всё большую актуальность приобретают методы и средства жёсткой, 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 идёт борьба за умы, ценности, поведенческие характеристики людей. Справедливо утверждается, что информационные войны велись задолго до появления киберпространства.

Повышение боеспособности Вооружённых сил по широкому спектру их функций и задач. Многочисленные исследования, оценки авторитетных учёных и специалистов свидетельствуют, что в области искусственного интеллекта наступает новый этап, который может знаменовать заметными прорывными результатами в военной сфере.

Выдвигаются гипотезы о том, что широкое внедрение систем ИИ приведёт 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, на которых акцентируют внимание многие эксперты, должны войти в перечень, который необходимо активно формировать уже сегодня с учётом достижений в области искусственного интеллекта.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND SOME ISSUES OF RUSSIAN SECURITY PROVISION

© 2019 A.A. Kokoshin

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: dekanat@fmp.msu.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Some cases of using Artificial Intelligence systems are analyzed in order to give reliable warning and optimal response to man-made and natural emergencies. The author considers the set of tasks of information and cyber security, of increasing the combat capability of the armed forces.

Keywords: systems and technologies of artificial intelligence, case study, man-made and natural emergencies, informational and cyber security, combat capability of armed forces.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА АО "Т-ПЛАТФОРМЫ" В.Ю. ОПАНАСЕНКО

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: графические ускорители вычислений, суперкомпьютерное моделирование, аппаратная реализация.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895440-441>

Сегодня многие результаты исследований в различных областях науки получены с применением методов суперкомпьютерного моделирования, чему способствуют постоянно растущие возможности современных вычислительных машин и достижения радиоэлектроники. Тем не менее существуют прикладные и научные задачи, которые всё ещё остаются неразрешимыми даже на крупнейших высокопроизводительных вычислительных платформах. Поэтому создание всё более мощных суперкомпьютеров и поиск для них эффективных алгоритмов — более чем актуальная задача.

Перспективным подходом, позволяющим производить вычисления экзотуровня, считается численное моделирование на гетерогенных суперкомпьютерах. Исследования и практическое применение таких гетерогенных вычислительных машин показало их высокую эффективность при решении прикладных задач. Однако для достижения высокой эффективности зачастую необходимо постоянно адаптировать программное обеспечение под новые аппаратные архитектуры.

Методы численного моделирования за последние 5–7 лет существенно продвинулись вперёд: адаптированы широко распространённые и разработаны новые алгоритмы моделирования, предложены новые подходы к решению прикладных задач. Проблема развития и актуализации прикладного программного обеспечения для новых высокопроизводительных вычислительных платформ привлекает всеобщее внимание. При этом значительно реже поднимается вопрос об усовершенствовании аппаратной реализации современных суперкомпьютеров.

В настоящее время масштабирование процесса вычисления и повышение производительности вычислительной системы объясняется исключительно "усилением" параллелизма. Увеличение аппаратной вычислительной плотности заставляет разработчиков микроэлектроники

заменять сложные и энергоёмкие вычислительные ядра более простыми, но энергоэффективными. Так, последние несколько лет широко используются ускорители вычислений вида GPGPU (так называемые графические карты, или графические ускорители). Следует заметить, что графические карты, содержащие огромное количество лёгких ядер, идеально подходят для тех математических моделей, которые разрешаются, например, методом перебора, но графические карты предназначены прежде всего для обработки графических процессов, и если брать соотношение цена—производительность, то это достаточно дорогой и энергоёмкий инструмент для решения множества наукоёмких прикладных задач. Тогда можно сделать вывод о необходимости разработки отечественного специализированного графического ускорителя вычислений и набора соответствующего программного обеспечения — прикладного и системного уровней.

В 2017 г. ряд ведущих научных учреждений выступил с инициативой организовать НИР по подготовке технического задания на разработку отечественного ускорителя. Техническое задание на НИР одобрено Министерством промышленности и торговли РФ. Идея была претворена в жизнь, и уже в мае—июле 2018 г. были подведены промежуточные итоги.

Подлежащий разработке ускоритель должен помогать решать широкий круг сложных инженерных задач и использоваться для решения задач смежных отраслей. Разнообразие прикладных задач, большое количество возможных подходов к их решениям, а также широкий набор вариантов применяемых математических аппаратов делает эту разработку многогранной. Для создания наиболее функционально полного устройства необходимо собрать как можно более полные базы знаний различных областей наук и прикладных задач научных организаций и конструкторских бюро. Ввиду сложности пла-

нируемого к разработке изделия мы надеемся на участие в НИОКРах по данной теме как мож- но большего числа заинтересованных в будущем изделия организаций.

SPEECH OF THE DIRECTOR GENERAL OF T-PLATFORM V.YU. OPANASENKO

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: graphic accelerators of calculations, supercomputer modeling, hardware implementation.

ЭФФЕКТИВНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ГОРЕНИЕМ: НОВЫЕ УГРОЗЫ И НОВЫЕ РЕШЕНИЯ

© 2019 г. С.Д. Варфоломеев*, С.М. Ломакин, П.А. Сахаров, А.В. Хватов**

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

**E-mail: sdvarf@sky.chph.ras.ru*

***E-mail: hvatovanatoliy@gmail.com*

Поступила в редакцию 16.01.2019 г.

Поступила после доработки 16.01.2019 г.

Принята к публикации 30.01.2019 г.

В работе рассмотрены перспективные системы снижения горючести полимерных материалов, учитывающие экологическую безопасность применения полимеров. Описаны полимерные нанокомпозиты, содержащие в качестве добавок нанокремнеземные наполнители и слоистые силикаты, которые проявляют синергетическое влияние на снижение горючести традиционных полимерных термопластов. Особое внимание уделяется новому направлению в снижении горючести за счёт интумесцентных антипиренов на основе окисленного возобновляемого сырья, которые с успехом могут применяться при изготовлении древесных и полимерных конструкционных материалов широкого назначения.

Ключевые слова: алюмосиликаты, антипирены, монтмориллонит, нанокомпозиты, многослойный графен, интумесценция, скорость тепловыделения, теплота сгорания, возобновляемое сырьё.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895442-448>

Исследования в области горения, взрывов, детонации и создание на этой основе эффективных методов управления процессами — крайне актуальная область 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. Использование высокотемпературных полимерных материалов, представляющих собой химическую модификацию нефти и природного газа, непрерывно растёт во всех странах мира, и, с одной стороны, повсеместно увеличивается число неконтролируемых возгораний, взрывов, пожаров, нередко переходящих в технические и бытовые катастрофы с гигантскими материальными потерями и человеческими жертвами, с другой стороны, пропорционально росту на-

родонаселения планеты возрастают объёмы органических отходов, причём этот рост имеет гиперэкспоненциальный характер. Основная масса отходов относится к твердофазной модификации углеводородов и в силу своей химической природы не может быть утилизирована биогенно и требует высокотемпературной переработки.

Научную базу управления горением, взрывом и детонацией составляет теория разветвлённых цепных реакций, созданная нобелевским лауреатом академиком Н.Н. Семёновым [1]. Большую роль в развитии этой теории 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 высокореакционноспособных 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 высокореакционноспособных 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

ВАРФОЛОМЕЕВ Сергей Дмитриевич — член-корреспондент РАН, научный руководитель ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН. ЛОМАКИН Сергей Модестович — кандидат химических наук, заведующий лабораторией ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН. САХАРОВ Павел Андреевич — научный сотрудник ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН. ХВАТОВ Анатолий Владимирович — кандидат химических наук, научный сотрудник ИБХФ им. Н.М. Эмануэля РАН.

химических агентов (антипиренов), трансформирующих активные частицы в малоактивные, химически "поглощающие" свободные радикалы. Другой механизм, открытый академиком Н.Н. Семёновым в ходе создания теории разветвлённых цепных реакций, — механизм "гибели на стенке", определяемый взаимодействием радикалов с массивной твёрдой фазой реактора.

Значительные успехи в поиске 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]. Критерием отбора является эффективность перехвата высокореакционноспособного радикала при минимальных концентрациях антипирена. Роль критических параметров играют также экологическая безопасность применения и стоимость реагента [4].

Нанокompозитные материалы. В Институте биохимической физики им. Н.М. Эмануэля (ИБХФ) 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 [9–15].

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 — одно из самых перспективных направлений в науке о композиционных материалах последних лет. Мультифункциональные нанокompозиты — материалы, в которых хотя бы один из размеров частиц дисперсной фазы (длина, ширина или высота) составляет менее 100 нм. Наночастицы могут иметь изодиаметрическую (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) [16, 17]. 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, жёсткости и прочности материалов [18–21].

Уникальное свойство нанонаполнителей влиять на процесс горения полимерных материалов, по всеобщему признанию, обусловлено их способностью формировать на горячей поверхности полимерной матрицы защитный карбонизованный слой, затрудняющий процесс массопереноса в условиях горения. В настоящее время предлагаются два механизма понижения горючести полимерных нанокompозитов с учётом 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 нанокompозитов, механизм этого процесса в присутствии нанодисперсных слоистых систем и углеродных нанонаполнителей различен.

В 2017 г. было исследовано влияние наноуглеродных наполнителей, в частности нанопластин графита/многослойного графена (НПГ), на горючесть полиолефинов (ПЭ и ПП). По результатам пиролитической хромато-масс-спектрометрии продуктов деструкции нанокompозитов установлено воздействие НПГ на механизм пиролиза нанокompозитов ПЭ и ПП за счёт снижения скорости реакции внутримолекулярной передачи цепи [14]. Причиной этого служит снижение сегментальной подвижности первичных полимерных макрорадикалов в присутствии нанопластин графита (физическая адсорбция на поверхности НПГ по данным дифференциальной сканирующей калориметрии). Установлено, что введение незначительных добавок НПГ (3–5%) в полиолефины позволяет существенно понижать максимальное значение скорости тепловыделения при горении полимерных нанокompозитов как посредством твердофазных процессов в полимерной матрице (традиционный механизм образования защитного слоя), так и благодаря снижению скорости диффузии тяжёлых углеводородных продуктов пиролиза в газовой фазе [14].

Наряду с основной причиной, влияющей на понижение горючести нанокompозитов за счёт твердофазных реакций коксообразования и формирования эффективного защитного слоя (shielding effect) на поверхности горящего полимерного материала, коллективом ИБХФ РАН был предложен альтернативный механизм, учитывающий изменение состава газообразных продуктов пиролиза в условиях пиролиза полимеров за счёт снижения скорости диффузии тяжёлых углеводородных продуктов пиролиза в газовой фазе.

Исторически наибольшее распространение среди нанонаполнителей, придающих полимерам

трудногорючие свойства, получили слоистые силикаты [8]. Полимерные нанокompозиты на основе слоистых силикатов представляют собой гибриды органической фазы (полимер) и неорганической фазы (силикат). Нанодисперсность нанокompозита зависит от типа используемого силиката. Применяемые для этого силикаты принадлежат к семейству слоистых алюмосиликатов, также известных как филосиликаты (слюда, тальк, монтмориллонит, вермикулит, гекторит, сапонит и т.д.) [8]. Однако наибольший практический интерес вызывают 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 [22]. В качестве примера можно привести неаддитивное влияние нанодисперсного слоистого силиката/монтмориллонита (ММТ) и гидроксида магния на горючесть композиций полипропилена, полученных расплавленным методом.

На рисунках 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/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и ПП-ММТ/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Из рисунка 1 видно, что максимальное значение скорости тепловыделения ПП равно 2060 кВт/м^2 . Аналогичный показатель максимальной СТВ для нанокompозита ПП-мПП-Cloisite 20A (7% масс.) составляет 936 кВт/м^2 , что свидетельствует о снижении значения максимальной СТВ более чем в 2 раза (на 55%) по сравнению с исходным ПП. Введение 30% масс. гидроксида магния в полипропилен приводит к небольшому понижению значения максимальной СТВ на 32% (1390 кВт/м^2) относительно исходного ПП, тогда как введение 60% $\text{Mg}(\text{OH})_2$ понижает максимальную СТВ в 6,5 раз до 317 кВт/м^2 (на 84%). 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. $\text{Mg}(\text{OH})_2$, выявил синергетический характер снижения параметра максимальной СТВ: максимальное значение СТВ для композиции ПП-ММТ – 7% масс./ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (30% масс.) уменьшилось в 5 раз (на 81%) по сравнению с исходным ПП и составило 398 кВт/м^2 (см. рис. 2). Данный эффект синергизма снижения горючести возникает, очевидно, при совместном влиянии ММТ и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ на твердофазные и газофазные процессы, протекающие при горении композиций ПП. Наночастицы ММТ участвуют в образовании карбонизованного угле-

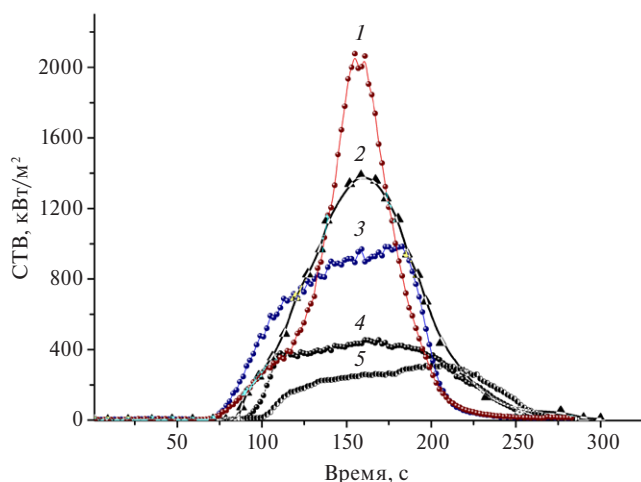


Рис. 1. Зависимость скорости тепловыделения от времени для образцов ПП (1), ПП/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 30% масс. (2), ПП-ММТ – 7% масс. (3), ПП-ММТ – 7% масс. / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 30% масс. (4) и ПП/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 60% масс. (5) в режиме испытаний на кон-калориметре при внешнем тепловом потоке 35 кВт/м^2

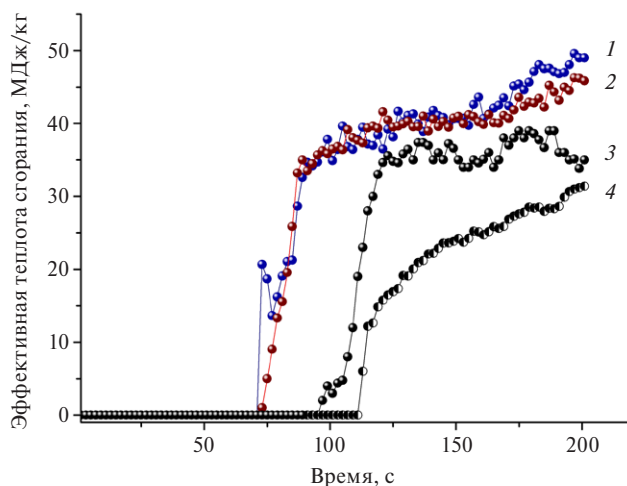


Рис. 2. Зависимость эффективной теплоты сгорания от времени для образцов ПП (1), ПП/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 30% масс. (2), ПП-ММТ – 7% масс. (3), ПП-ММТ – 7% масс. / $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 30% масс. (4) и ПП/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 60% масс. (5) в режиме испытаний на кон-калориметре при внешнем тепловом потоке 35 кВт/м^2

род/керамического защитного слоя, влияющего на процессы массо- и теплопередачи на поверхности горящего полимера, а $\text{Mg}(\text{OH})_2$ оказывает воздействие на газофазные процессы в пламени за счёт разбавления продуктов пиролиза полимеров водой. Анализ экспериментальных данных, представленных на рисунке 2, показывает увеличение периода индукции воспламенения композиций ПП-ММТ – 7% масс./ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 30% масс., и ПП/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 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/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (30% масс.) – 76 с, ПП-ММТ (7% масс.)/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (30% масс.) – 97 с, ПП/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (60% масс.) – 103 с.

Рисунок 2 иллюстрирует зависимость эффективной теплоты сгорания от времени, которая практически идентична для ПП и ПП-ММТ. А значит, силикатная добавка не проявляет свойств антипирена, ингибирующего газофазные процессы в пламени, и не влияет на теплоту сгорания. Незначительное уменьшение эффективной теплоты сгорания образца ПП/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 30% масс. свидетельствует о малой эффективности воздействия добавки $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в количестве 30% масс. на газофазные процессы в пламени. Однако при введении 60% масс. $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 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.)/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (30% масс.) по сравнению с исходным ПП, наноккомпозитом ПП-ММТ и ПП/ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (30% масс.) указывает на синергизм снижения горючести композиции ПП при совместном введении добавок ММТ и $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Проведённые исследования горючести композиций ПП, содержащих $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и нанонаполнитель ММТ, позволяют сделать вывод, что совместное введение традиционного антипирена $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в относительно небольшой концентрации и слоистого нанонаполнителя ММТ обеспечивает получение труднгорючего материала на основе ПП. При этих условиях появляется возможность сохранить полезные физико-механические свойства исходного полимера.

Другой классический пример нанонаполнителя, снижающего горючесть полимерных материалов, – углеродные нанотрубы. Сравнительные испытания характеристик горючести наноккомпозитов ПП, содержащих 3 и 5% масс. многостенных углеродных нанотруб (МУНТ), были проведены на кон-калориметре при воздействии внешнего теплового потока 35 кВт/м^2 [12]. На рисунке 3 представлены графики зависимости основной ха-

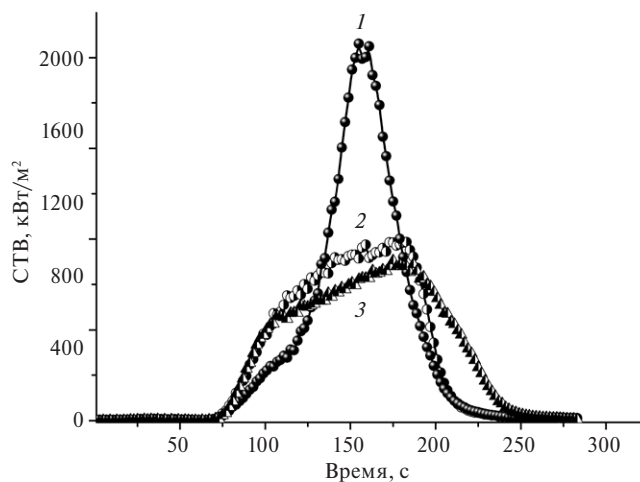


Рис. 3. Зависимость скорости тепловыделения от времени для образцов ПП (1) и наноккомпозитов ПП, содержащих 3 (2) и 5% масс. (3) МУНТ, в режиме испытаний на кон-калориметре при внешнем тепловом потоке 35 кВт/м^2

рактеристики горючести – скорости тепловыделения (СТВ) – для ПП и наноккомпозитов ПП, содержащих 3 и 5% масс. МУНТ. Графики отражают резкое снижение значения максимальной скорости тепловыделения наноккомпозитов ПП/МУНТ по сравнению с исходным ПП. Так, для наноккомпозитов ПП с 3 и 5% масс. МУНТ значения максимальной скорости тепловыделения составляют $552,8 \text{ кВт/м}^2$ и $455,8 \text{ кВт/м}^2$ соответственно, тогда как для исходного ПП эта величина равна 2037 кВт/м^2 . Расчётные значения эффективной теплоты сгорания ПП и наноккомпозитов 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 [8–12].

Интумесцентные экологически безопасные антипирены на основе возобновляемого сырья. Как показали исследования, окисленные производные природного возобновляемого сырья, представляющие собой целлюлозо- и крахмалосодержащие (полисахара) реагенты могут найти применение в качестве эффективных антипиренов для конструкционных изделий из древесины, при изготовлении различных композиционных полимерных материалов, а также при тушении пожаров [23, 24]. Полученные результаты оказались совершенно неожиданными, поскольку ранее никто не предполагал, что подобные реагенты могут обладать свойствами антипиренов. Благодаря этим результатам был установлен интумесцентный механизм огнезащитного действия антипиренов на основе окисленного возобновляемого сырья [23–26].

Синхронный ТГА-ИК-Фурье анализ интумесцентного антипирена показал, что процесс его терморазложения происходит в три стадии. На первой стадии термодеструкции (220–260°C) выделяются вода и углекислый газ за счёт реакций дегидратации и декарбоксилирования в ходе распада сложноэфирных связей, при этом происходит вспенивание образца. На второй стадии (270–450°C) наблюдается разложение углеродного скелета антипирена, сопровождающееся карбонизацией и образованием пенококса. На третьей стадии (догорание на воздухе, $T > 450^\circ\text{C}$) происходит выгорание коксового остатка с 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, ключевой фактор снижения горючести древесных конструкций и композиционных материалов, обработанных данными антипиренами, — интумесцентный характер поведения антипиренов, в соответствии с ним термический нагрев приводит к образованию пенококса, который в свою очередь препятствует процессу горения за счёт резкого снижения тепло- и массообмена между пламенем и поверхностью горящих материалов.

Одна из недавних разработок сотрудников ИБХФ РАН — уникальная технология 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 области 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 [25, 26]. Конструкционные изделия, обработанные синтезированным антипиреном, обладают 1-й группой огнезащитной эффективности, а также высокой огнестойкостью $R > 60$ (ГОСТ 30247.0) при расходе антипирена около 200–300 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 сожалению, пока не нашла эффективного социально приемлемого решения. Прямое сжи-

гание сопряжено с недостаточно эффективной трансформацией экологически опасных соединений, с генерацией газообразующих экотоксикантов. Иной эффективный вариант утилизации предложен коллективом Института химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН [27]. Используя технологию детонационного горения, сотрудники лаборатории С.М. Фролова провели процесс в температурном интервале 1800–2500°C с генерацией воды, высокая реакционная способность которой при указанных температурах позволяет трансформировать органические отходы в синтезгаз.

Таким образом, в настоящее время благодаря исследованиям, выполненным в ИБХФ РАН, разработаны экологически безопасные антипирены, получаемые из возобновляемых источников сырья. Производство этих антипиренов освоено компанией "Татнефть".

Кардинальное решение задачи предотвращения катастроф с возгоранием и распространением пламени заключается в широком использовании ингибиторов горения — антипиренов. Проблема из области научных исследований и технологических разработок переходит в область организационно-государственных решений. Для её преодоления необходим закон об обязательном использовании экологически безопасных антипиренов при производстве древесных и полимерных строительных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семёнов Н.Н. Самовоспламенение и цепные реакции // Успехи химии. 1967. Т. 36. № 1. С. 3–33.
2. Азатян В.В., Мержанов А.Г. Разветвлённо-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.
4. Lomakin S.M., Zaikov G.E. Modern Polymer Flame Retardancy // New Concepts in Polymer Science. Boston: VSP Int. Sci. Publ. Utrecht, 2003.
5. Grand F., Wilkie C.A. Fire Retardancy of Polymeric Materials. N.Y. — Basel: Marcel Dekker Inc., 2000.
6. Fire Retardant Materials / Ed. by A.R. Horrocks, D. Price. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000.
7. Fire Retardancy of Polymers: New Applications of Mineral Fillers / Ed. by M. Le Bras, A.W. Wilkie, S. Bourbigot. Cambridge: RSC Publishing, 2005.
8. Ломакин С.М., Заиков Г.Е. Полимерные нанокомпозиты пониженной горючести на основе слоистых силикатов // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 2005. Т. 45. № 1. С. 104–120.
9. Ломакин С.М., Дубникова И.Л., Березина С.М., Заиков Г.Е. Термическая деструкция и горение нано-

- композита полипропилена на основе органически модифицированного слоистого силиката // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 2006. Т. 48. № 1. С. 90–105.
10. 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. V. 43. № 4. P. 1340–1353.
 11. Lomakin S. M., Dubnikova I. L., Shchegolikhin A. N. et al. Thermal Degradation and Combustion of the Polyethylene/clay Nanocomposite Prepared by Melt Intercalation // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2008. V. 94. № 3. P. 719–726.
 12. Rakhimkulov A. D., Lomakin S. M., Dubnikova I. L. et al. The effect of multi-walled carbon nanotubes addition on the thermo-oxidative decomposition and flammability of PP/MWCNT nanocomposites // Journal of Materials Science. 2010. V. 45. № 3. P. 633–640.
 13. Zaikov, G. E., Rakhimkulov, A. D., Lomakin, S. M. et al. Thermal degradation and combustion behavior of polypropylene/MWCNT composites // Molecular Crystals and Liquid Crystals. 2010. V. 523. P. 106–119.
 14. Lomakin S., Brevnov P., Koverzanova E. et al. The effect of graphite nanoplates on the thermal degradation and combustion of polyethylene // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2017. V. 128. P. 275–280.
 15. Flame Retardant Polymer Nanocomposites / Ed. by A. B. Morgan, C. A. Wilkie. New Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
 16. Fire Retardancy of Polymers – New Strategies and Mechanisms / Ed. by T. R. Hull, B. K. Kandola. Cambridge: RSC Publishing, 2009.
 17. Zanetti M., Lomakin S., Camino G. Polymer layered silicate nanocomposites // Macromolecular Materials and Engineering. 2000. V. 279. № 1. P. 1–9.
 18. Polymer nanocomposites / Ed. by Y Mai, Yiu-Wing Mai, Y Mai Mai, Mai Mai, Zhong-Zhen Yu. Cambridge: CRC Press, 2006.
 19. Новокшинова Л. А., Бревнов П. Н., Гринёв В. Г. и др. Нанокмпозиционные материалы на основе полиэтилена и слоистых силикатов: синтез, структура, свойства // Российские нанотехнологии. 2008. Т. 3. № 5–6. С. 136–149.
 20. Dubnikova I., Kuvardina E., Krashenninnikov V. et al. The effect of multiwalled carbon nanotube dimensions on the morphology, mechanical, and electrical properties of melt mixed polypropylene-based composites // Journal of Applied Polymer Science. 2010. V. 117(1). P. 259–272.
 21. Kuvardina E. V., Novokshonova L. A., Lomakin S. M. et al. Effect of the Graphite Nanoplatelet Size on the Mechanical, Thermal, and Electrical Properties of Polypropylene/Exfoliated Graphite Nanocomposites // Journal of Applied Polymer Science. 2013. V. 3. P. 1412–1424.
 22. Ломакин С. М., Усачёв С. В., Бревнов П. Н. и др. Патент РФ "Полимерная композиция на основе олефинов, характеризующаяся пониженной горючестью", № 2013113667 от 20.11.2014 г.
 23. 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 C. D. Papaspyrides, P. Kiliaris. Amsterdam, Oxford: Elsevier, 2014. P. 255–266.
 24. Варфоломеев С. Д., Ломакин С. М., Сахаров А. М. и др. Патент РФ "Антипирен, способ его получения, способ огнезащитной обработки горючего субстрата и способ тушения очага горения", № 2425069 от 27.07.2011 г.
 25. Варфоломеев С. Д., Ломакин С. М., Сахаров П. А. и др. Патент РФ "Полиэфирное связующее пониженной горючести", № 2674210 от 10.01.2018 г.
 26. Сахаров П. А., Ломакин С. М., Хватов А. В. и др. Патент РФ "Антипирен, способ его получения и способ огнезащитной обработки древесины", № 2674208 от 22.01.2018 г.
 27. Фролов С. М. Наука о горении и проблемы современной энергетики // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева). 2008. Т. LII. № 6. С. 129–133.

EFFECTIVE CHEMICAL METHODS OF FIRE CONTROL: NEW THREATS AND NEW SOLUTIONS

© 2019 S.D. Varfolomeev*, S.M. Lomakin, P.A. Sakharov, A.V. Khvatov**

Emanuel Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**E-mail: sdvarf@sky.chph.ras.ru*

***E-mail: hvatovanatoliy@gmail.com*

Received: 16.01.2019

Received after revision: 16.01.2019

Accepted for publication: 30.01.2019

This paper discusses the prospective flame retardant systems for polymeric materials, while considering the environmental issues they create. Polymer nanocomposites with carbon nano-additives and layered silicates are presented as a new type of flame retardant system which exhibits a synergistic effect flame retardancy for traditional polymer thermoplasts. Particular attention is paid to the novel intumescent flame retardants based on the oxidized renewable raw materials, which can be successfully used in the manufacture of multi-purpose timber construction and polymer materials.

Keywords: aluminosilicates, flame retardants, montmorillonite, nanocomposites, multilayer graphene, intumescence, heat release rate, renewable raw materials.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ДОКТОРА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК С.М. ФРОЛОВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: управляемое детонационное горение, непрерывное детонационное горение, энергетические установки, транспортные двигатели.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895449-450>

Впервые на возможность технического использования управляемого детонационного горения обратил внимание академик Я.Б. Зельдович в своей статье 1940 г. в "Журнале технической физики". Он теоретически доказал, что коэффициент полезного действия термодинамического цикла со сверхзвуковым детонационным горением намного выше, чем коэффициент полезного действия цикла с дозвуковым медленным горением.

Отличительные особенности детонационного горения — наличие сильной ударной волны, а также быстрые химические превращения в режиме самовоспламенения в этой волне. Такое горение можно использовать для создания повышенной тяги в транспортных двигателях нового поколения для аэрокосмических, наземных, надводных и подводных аппаратов, для совершения повышенной механической работы (фрагментации, формования), быстрого разогрева и пр., а также для получения веществ в гипертермализованном состоянии, например, для сверхперегрева воды в детонационных волнах. Мы называем эту воду гипертермализованной, поскольку она имеет чрезвычайно высокую реакционную способность.

Что сулит применение детонационного горения в транспортных двигателях и энергетических установках? Существующие установки, работающие на управляемом горении, в стационарном рабочем процессе при постоянном давлении в камере уже фактически достигли верхней границы коэффициента полезного действия. Создание установок, работающих на управляемой детонации в условиях значительного повышения давления, позволит поднять верхнюю границу коэффициента полезного действия на 15–20%, приблизив его к эффективности идеального цикла Карно.

Возникает вопрос: как реализовать на практике управляемое детонационное горение? Сегодня активно рассматриваются два варианта: непрерывное детонационное горение и импульсное детонационное горение. Непрерывное детона-

ционное горение возникает при подаче горючего и окислителя в кольцевую камеру сгорания таким образом, чтобы образующаяся горючая смесь сгорала во вращающейся детонационной волне. Это идея академика Б.В. Войцеховского, которую он выдвинул в 1959 г. В Институте химической физики им. Н.Н. Семёнова (ИХФ) РАН успешно реализован такой непрерывный детонационный процесс горения в экспериментальных образцах ракетных двигателей — водородно-кислородных и метано-кислородных — и впервые экспериментально доказана энергоэффективность непрерывного детонационного цикла. Оказалось, что детонационное горение на 7–8% увеличивает тягу и повышает удельные характеристики двигателя по сравнению с обычным горением. Кроме того, в детонационном двигателе такие же удельные характеристики достигаются при вдвое меньшем давлении в камере сгорания, что тоже очень важно, особенно для жидкостных ракетных двигателей.

Непрерывное детонационное горение можно использовать и в турбореактивных двигателях, заменив обычную жаровую трубу на детонационную. Как ожидается, это приведёт к повышению полного давления в детонационной камере сгорания и уменьшению расхода горючего приблизительно на 10–12%. Причём, если в традиционных камерах сгорания полное давление падает на 5–6%, то при детонации оно будет расти. Газодинамические расчёты показали, что нет никаких принципиальных препятствий для создания многорежимных детонационных камер сгорания для турбореактивных двигателей. Другое направление применения непрерывного детонационного горения — прямоточные двигатели для высокоскоростных летательных аппаратов. Расчётным путём и экспериментально показано, что при работе на водороде такие двигатели могут обеспечить атмосферный полёт аппаратов при числе Маха от 4 до 8.

Управляемое детонационное горение можно использовать для тонкой фрагментации вязких

жидкостей — тяжёлых фракций нефти и водно-угольных суспензий. Если модулировать детонационными волнами распыление обычной форсунки, которая даёт капли размером 500 мкм, то легко получаются капли размером 15–20 мкм, сгорающие голубым пламенем без всяких признаков сажеобразования.

Ещё одна область практического использования управляемого детонационного горения — переработка бытовых отходов. Недавно сотрудники ИХФ РАН приступили к разработке новой беспламенной технологии переработки твёрдых

бытовых отходов гипертермализованной водой, которая получается детонационным способом. При детонации образуется сверхперегретый водяной пар с температурой более 1700°C, который имеет очень большую реакционную способность и окисляет твёрдые бытовые отходы. В результате мы получаем множество полезных продуктов без каких-либо выбросов в атмосферу. Этот проект реализуется ИХФ РАН совместно с индустриальным партнёром института — ООО "Новые физические принципы" и холдингом "Пластметалл".

SPEECH OF THE DOCTOR OF PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES S.M. FROLOV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: controlled detonation combustion, continuous detonation combustion, power plants, transport engines.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК А.Б. СИВЕНКОВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: обеспечение пожарной безопасности, противопожарные нормы, огнестойкость конструкций, средства огнезащиты.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895451-452>

Обеспечение пожарной безопасности остаётся одной из наиболее важных проблем современности. По данным пожарной статистики, каждые 2–3 минуты в России происходит пожар, ежегодно гибнет от 15 до 20 тыс. человек. Подобная ситуация обусловлена тем, что в зданиях и сооружениях зачастую нарушаются правила пожарной безопасности, а также применяются строительные материалы и конструкции, не отвечающие требованиям противопожарных норм. Положение усугубляет малая изученность особенностей пожарной опасности различных строительных материалов и конструкций, кроме того, в некоторых случаях имеются несовершенства методов огневых испытаний.

В связи с вышесказанным Академия государственной противопожарной службы МЧС России (Академия ГПС МЧС России) совместно с рядом научно-исследовательских и учебных учреждений проводит многолетние исследования по выявлению особенностей поведения материалов и конструкций, влиянию различных факторов на пожарную опасность тех или иных строительных материалов. В частности, совместная работа ведётся с Институтом химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН и Институтом биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН. Получено большое число важнейших зависимостей и характеристик, в настоящее время они используются непосредственно на практике и включены в различные справочные материалы, продолжается работа по внедрению нормативно-технических документов.

Особое направление, впервые в мировой практике получившее разработку, — изучение влияния длительного срока эксплуатации на пожарную опасность и огнестойкость конструкций из различных материалов. Оно было инициировано после целой серии пожаров, приведших к утрате десятков объектов культуры и памятников деревянного зодчества. К числу таких пожаров относится и случившийся в 2015 г. в Институте научной информации по общественным наукам РАН,

где в книгохранилище находились исторические книги, что тоже, по нашему мнению, повлияло и на характер самого пожара, и на особенности нарастания факторов пожароопасности.

Результаты свидетельствуют, что длительная эксплуатация вызывает во многих материалах физико-химические изменения, которые приводят к значительному ухудшению огнестойкости конструкций и повышению их пожароопасности. Можно говорить об изменении пожарной опасности и огнестойкости строительных конструкций вследствие их длительной эксплуатации как о новом виде угроз для человека в зданиях и сооружениях при возникновении пожаров. Так, для деревянных конструкций снижение пределов огнестойкости может достигать 20–30%. Данная информация пока не находит должного отражения в нормативно-технической литературе, тем не менее мы прикладываем усилия для того, чтобы она учитывалась на практике.

Ведущее значение имеют исследования огнезащитных материалов и их эффективности. В соответствии с Федеральным законом № 123 "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" предписывается применение разных видов огнезащиты для снижения вероятности воздействия опасных факторов пожара на человека, а также снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости строительных конструкций. К сожалению, применение огнезащиты для вышеуказанных целей на практике не получило широкого распространения, исследования носят ограниченный характер. Так, в области защиты деревянных конструкций серьёзных подвижек не было на протяжении четверти века, долгое время основной оставалась диссертационная работа В.С. Харитоновой, которая была защищена ещё в 1992 г. Над изменением сложившейся ситуации трудится научный коллектив Академии ГПС МЧС России совместно с академическими и вузовскими учёными. Подробно изучены механизмы огнезащитного действия, разработаны

составы, эффективные в отношении снижения воспламеняемости, распространения пламени, дымообразующей способности, а также в отношении повышения пределов огнестойкости. Ряд огнезащитных материалов пригоден для защиты как современной древесины, так и для древесины длительного старения. Получены составы, снижающие скорость окисления угольных слоёв в 5 и более раз. Впервые проведены исследования по применению поверхностных огнезащитных составов для повышения пределов огнестойкости на 10% и более, которые дали очень интересные результаты. Ещё одно достижение, заслуживающее внимания, — инновационные способы пропитки древесины, в частности, импульсный способ, позволяющий в ряде случаев повысить физико-механические характеристики древесины, а также обеспечить получение группы материалов с малой дымообразующей способностью. Как было установлено в ходе испытаний полномасштабных конструкций, тепловые эффекты практически отсутствуют в течение 45-минутного стандартного огневого воздействия, что позволяет получать конструкции с классами пожарной опасности К1 и К2. Перспективным является

применение огнезащитных покрытий на основе модификации растительного сырья и отходов его переработки.

В заключение назову главные направления предстоящей масштабной работы в области разработки, применения и оценки качества различных видов огнезащиты:

- совершенствование системы контроля качества и применения средств огнезащиты и достижение требуемых показателей по пожарной опасности и огнестойкости;

- продолжение исследований особенностей пожарной безопасности и огнестойкости материалов с использованием комплекса пожарно-технических и физико-химических методов и с учётом различных факторов — видовых признаков, сроков и условий эксплуатации;

- 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.

SPEECH OF THE DOCTOR OF ENGINEERING SCIENCES A.B. SIVENKOV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: ensuring the fire safety, fire protection regulations, fire resistance of structures, means of fireproofing.

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН**

ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ "ПЕРЕХОД К ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНЕ, ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОМУ ЗДРАВООХРАНЕНИЮ И ТЕХНОЛОГИЯМ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ, В ТОМ ЧИСЛЕ ЗА СЧЁТ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ, ПРЕЖДЕ ВСЕГО АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ"

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СОВЕТА ПО ПРИОРИТЕТУ АКАДЕМИК РАН А.А. МАКАРОВ

**ВЫСТУПЛЕНИЕ ЗАМЕСТИТЕЛЯ МИНИСТРА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РФ
С.А. КРАЕВОГО**

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.
Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: биотехнологии, биобезопасность, синтетическая биология, угрозы биологического характера.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895453-454>

Стремительное развитие в последние годы биологических технологий, причём как в экономически развитых, так и в развивающихся странах, относительная дешевизна исходных материалов для создания рукотворных биологических агентов, возможность использовать при их изготовлении оборудование, применяемое в биотехнологических производствах гражданского назначения, а также доступность новейших методических разработок для широкого круга потенциальных пользователей на фоне размытости моральных границ и появления различных экстремистских идеологических течений создают условия для возникновения новых угроз в области биологической безопасности. Фактором усиления этих угроз выступает новое направление современной молекулярной биологии и генетики — так называемая синтетическая биология, которая определяется как новая область исследования, объединяющая фундаментальные биологические дисциплины и практическую биотехнологию и биоинженерию с целью проектирования и построения не существовавших ранее в природе биологических систем либо модификации известных патогенов, в том числе с заданными свойствами.

Очевидно, что такая деятельность может служить как благим, так и антигуманным целям. Влияние различных факторов окружающей среды на микроорганизмы также приводит к стойкому наследственному изменению свойств возбудителей инфекционных заболеваний либо к появлению новых патогенов, для которых

ещё не разработаны средства диагностики, лечения и профилактики. Ситуация усугубляется низкой степенью готовности к подобным, в том числе преднамеренным, угрозам биологического характера практически всех стран.

Действующая в Российской Федерации система биологической защиты, определённая постановлением Правительства РФ от 2005 г. № 303, включает в себя более 20 федеральных органов исполнительной власти и служб. Она ориентирована прежде всего на биологические угрозы природного характера и не позволяет в полной мере противостоять преднамеренным угрозам, преследующим цель дестабилизировать общественно-политическую обстановку и нанести экономический ущерб стране. Чтобы преодолеть несовершенство действующей системы, необходимо реализовать комплекс действенных мер.

Первое. Нужно объединить усилия различных ведомств и научного сообщества по повышению готовности государства противостоять угрозам биологического характера. С этой целью следует обратить внимание прежде всего на дальнейшее совершенствование нормативной базы. В соответствии с Основами государственной политики в области обеспечения химической и экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу, утверждёнными Президентом РФ в 2013 г., Министерством здравоохранения РФ разработан проект закона "О биологической безопасности", который содержит комплекс мер по нейтрализа-

ции угроз биологического характера. В настоящее время этот проект представлен Правительству России и в ближайшее время должен быть внесён в Государственную думу.

Второе. Следует расширить мониторинг эпидемической обстановки не только на территории Российской Федерации, но и, имея в виду открытость современного мира, за границами нашей страны, чтобы отслеживать случаи нетипичного превышения пороговых значений групповой заболеваемости.

Третье. Требуется разработка отечественных приборов для оперативного мониторинга, быстрой индикации и идентификации биологических, в том числе синтетических, патогенов, а также соответствующей реагентной базы. Приборная база должна быть тесно интегрирована с современными методами эпидемиологического анализа и прогнозирования.

Четвёртое. Важная задача — создание универсальной платформы для получения заданных вакцин против как существующих, так и новых возбудителей заболеваний, которые потенциально могут быть применены в качестве поражающих биологических агентов.

Пятое. Необходимо совершенствовать методы экстренной профилактики, позволяющие проводить массовую иммунизацию населения в короткие сроки.

Шестое. На повестке дня — создание новых эффективных антимикробных и противовирусных препаратов, в том числе преодолевающих антимикробную резистентность, включая терапевтические средства на основе специфических моноклональных антител.

Седьмое. Нужно осуществлять мониторинг научно-исследовательских и опытно-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 учёных-биологов, которым они должны руководствоваться при проведении биологических научных исследований, результаты которых могут иметь двойное назначение.

Таким образом, комплексное эффективное противостояние угрозам биологического характера предполагает объединение усилий научного сообщества и государственных структур, а также тесное межведомственное взаимодействие.

SPEECH OF THE DEPUTY MINISTER OF HEALTH OF THE RUSSIAN FEDERATION S.A. KRAEVOY

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: biotechnology, biosafety, synthetic biology, threats of a biological nature.

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И НОВЫЕ ВЫЗОВЫ

© 2019 г. М.В. Ковальчук*, О.С. Нарайкин**, Е.Б. Яцишина***

Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Москва, Россия

**E-mail: Koval@nrcki.ru; **E-mail: Naraikin_OS@nrcki.ru;*

****E-mail: Yatsishina_EB@nrcki.ru*

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 11.12.2018 г.

Принята к публикации 17.01.2019 г.

В статье излагается концепция создания природоподобной техносферы как закономерного этапа научно-технологического развития цивилизации. Исследуются проблемы и результаты формирования конвергентных НБИКС-технологий как инструмента создания природоподобной техносферы. Рассматриваются задачи, решение которых необходимо для ускоренного развития природоподобных технологий в России.

Ключевые слова: стратегические и тактические приоритеты, природоподобные технологии, природоподобная техносфера, конвергентные нано-, био-, инфо-, когнитивные и социогуманитарные (НБИКС) технологии, исследовательские установки класса мегасайенс, генетические технологии.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895455-465>

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 прио-

ритеты, 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. этой мощи 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,

КОВАЛЬЧУК Михаил Валентинович — член-корреспондент РАН, президент НИЦ "Курчатовский институт". НАРАЙКИН Олег Степанович — член-корреспондент РАН, вице-президент НИЦ "Курчатовский институт". ЯЦИШИНА Екатерина Борисовна — кандидат философских наук, заместитель директора НИЦ "Курчатовский институт".

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, 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, о чём свидетельствует нарастающая борьба за истощающиеся ресурсы, — именно она 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: термоди-

намика — 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 в., 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 естествен-

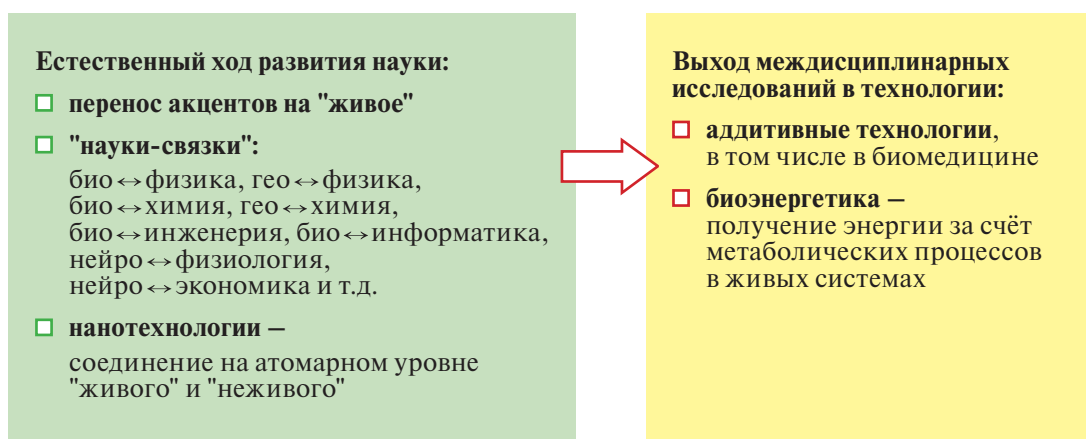


Рис. 1. Через междисциплинарность к природоподобию

ный 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 РФ 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 позволят 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 непонятного, 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].

С течением времени, 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. 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,

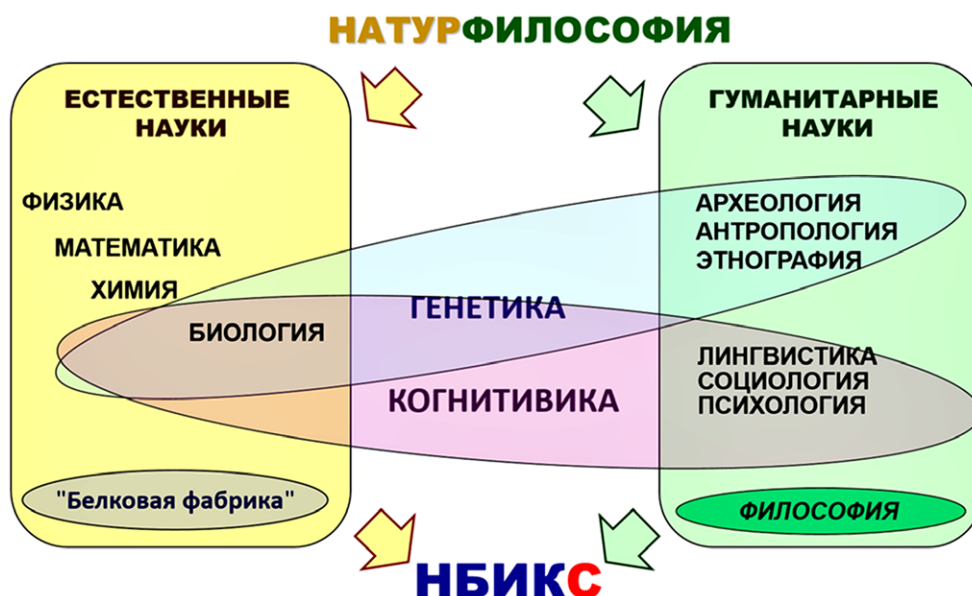


Рис. 2. Превращение гуманитарных знаний в технологии

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 имеют 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.

Сегодня уже общепризнано, что таким инструментарием служит конвергенция нано-, био-, информационных, когнитивных и социогуманитарных наук и технологий (НБИКС-технологии), 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 мате-

риала, 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.

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 до-

кладе 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 извлечения 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 индивиду-

альным, 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. Так, 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. Задачу 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].

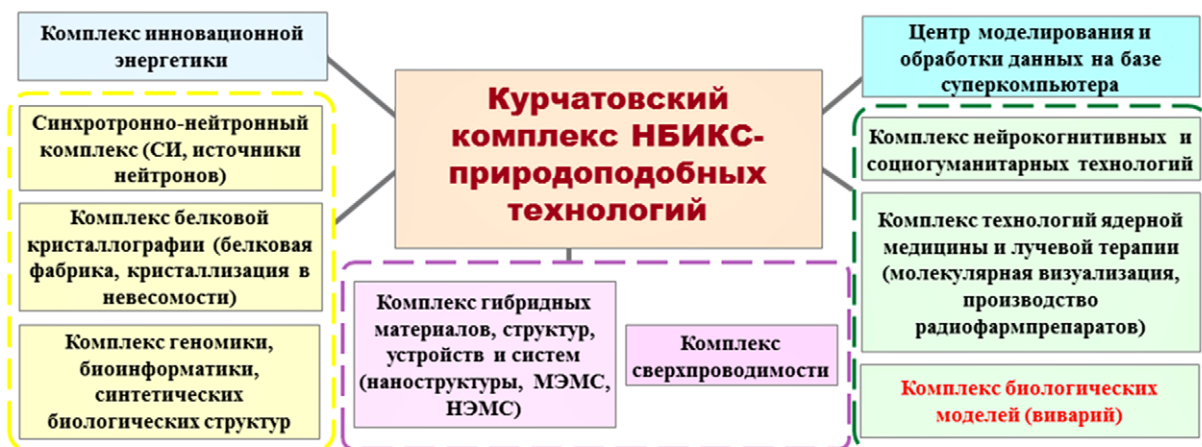


Рис. 3. Структура Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий

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 мегасайенс, среди которых (рис. 3):

- 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 нанoeлектромеханические системы);
- комплекс сверхпроводимости;
- комплекс инновационной энергетики.

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. 4).

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. 4. 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 мемристинных 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 мемристинных 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 онколо-

гии, 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, в том числе 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 дальней-

ших 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, СПбАН 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 компе-

тенций 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 базе 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. <http://kremlin.ru/events/president/transcripts/50385> (дата обращения 05.11.2018).
7. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации. <http://static.kremlin.ru/media/events/files/ru/uZiATiOJiq5tZsJgqcZLY9YyL8PWTXQb.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. Изд. 2-е, испр. и доп. М., 2011.
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., Одинокоев Г.Н. и др. Синтетическая биология: риски и перспективы // Проблемы особо опасных инфекций. 2014. № 3. С. 5–10.
15. Энгдаль У.Ф. Семёна разрушения: Тайная подоплёка генетических манипуляций. СПб.: Нестор-История, 2009.
16. Президентская инициатива "Стратегия развития nanoиндустрии". 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., Zhanavskina 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.
18. Mayboroda I. O., Knizhnik A. A., Grishchenko Yu. V. et al. Growth of AlGaIn 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. Neuro-morphic 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., Тенчури 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., Krashenninnikov 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., Тенчури 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., Obyedny 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., Грешиников Э.А. Черневые кресты-энколпионы в Суздальском Ополье // *Археологические вести*. Вып. 23. СПб.: ИИМК РАН, 2017. С. 291–310.
40. Говор Л.И., Грешиников 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.

NATURE-LIKE TECHNOLOGIES: NEW OPPORTUNITIES AND NEW CHALLENGES

© 2019 M.V. Kovalchuk*, O.S. Naraikin**, E.B. Yatsishina***

National research center "Kurchatov institute", Moscow, Russia

*E-mail: Koval@nrcki.ru; **E-mail: Naraikin_OS@nrcki.ru;

***E-mail: Yatsishina_EB@nrcki.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 11.12.2018

Accepted: 17.01.2019

The article dwells on the concept of creation of nature-like techno spheres in terms of the logical phase of scientific and technological development of a civilization. It reveals the problems and achievements encountered in the process of founding of the convergent NBICS technologies, which serve an instrument of creation of a nature-like techno sphere. It also describes the goals required to speed up the process of development of nature-like technologies in Russia.

Keywords: strategic and tactical priorities, nature-like technologies, nature-like techno sphere, convergent nano-, bio-, info- and socio-humanitarian (NBICS) technologies, research installation of mega-science class, genetic technologies.

РОБОТ-АССИСТИРОВАННАЯ ХИРУРГИЯ

© 2019 г. Д.Ю. Пушкарь*, А.В. Говоров**, К.Б. Колонтарев***

*Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова
Минздрава России, Москва, Россия*

**E-mail: pushkardm@me.com, **E-mail: dr.govorov@gmail.com,*

****E-mail: kb80@yandex.ru*

Поступила в редакцию 02.12.2018 г.

Поступила после доработки 14.12.2018 г.

Принята к публикации 24.12.2018 г.

Представлены современные данные о развитии робот-ассистированной хирургии, использовании роботических систем в различных областях медицины, основных преимуществах и недостатках оперативного лечения различных заболеваний с применением роботов. Приведены статистические показатели, касающиеся инсталлированных в России и других странах систем для робот-ассистированных операций, а также выполненных оперативных вмешательств с роботической ассистенцией. Обсуждаются пути дальнейшего развития хирургических роботов, возможности обучения врачей, проведения операций с применением роботических технологий, перспективы разрабатываемого российского робот-ассистирующего комплекса.

Ключевые слова: робот-ассистированная хирургия, хирургический робот, радикальная простатэктомия, рак предстательной железы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895466-469>

Робот-ассистированная хирургия — одно из важнейших достижений современной медицины. Робот-ассистированные операции, широко применяемые в урологии, гинекологии, общей и сердечно-сосудистой хирургии, рассматриваются многими специалистами в качестве нового "золотого стандарта" оперативного лечения различных заболеваний в развитых странах. По состоянию на 1 января 2018 г. в мире установлено более 4,2 тыс. систем для робот-ассистированной хирургии. В 2017 г. в мире выполнено около 750 тыс. вмешательств с применением роботов, что на 15% больше, чем в 2016 г., а общее число операций с роботической ассистенцией с 2000 г. превысило 4 млн.

В Российской Федерации установлено более 30 роботических систем "Да Винчи": в Москве, Санкт-Петербурге, Краснодаре, Ханты-Ман-

сийске, Екатеринбурге, Новосибирске, Тюмени, Ростове-на-Дону и Владивостоке. Отмечается устойчивая тенденция к росту числа ежегодно выполняемых робот-ассистированных вмешательств: например, в 2016 г. проведена 1581 роботическая операция, а в 2017 г. — примерно 2400; 74% всех российских робот-ассистированных операций выполняется по поводу урологической патологии, 13% — по поводу хирургических и 10% — гинекологических заболеваний.

К преимуществам операций с использованием роботических технологий относятся малая инвазивность вмешательства, трёхмерная визуализация операционного поля, а также высокая точность движений инструментов, вследствие чего минимизируется интраоперационная кровопотеря. В числе несомненных преимуществ и короткая госпитализация, быстрое восстановление, непродолжительная социальная дезадаптация оперированных пациентов. К сожалению, высокая стоимость оборудования и его обслуживания ограничивает более широкое использование робот-ассистированных вмешательств в нашей стране.

Наиболее часто выполняемой урологической роботической операцией во всём мире является радикальная простатэктомия у больных ра-

ПУШКАРЬ Дмитрий Юрьевич — член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой урологии МГМСУ им. А.И. Евдокимова, главный уролог Минздрава России. ГОВОРОВ Александр Викторович — доктор медицинских наук, профессор кафедры урологии МГМСУ им. А.И. Евдокимова. КОЛОНТАРЕВ Константин Борисович — доктор медицинских наук, профессор кафедры урологии МГМСУ им. А.И. Евдокимова.



Фото 1. Демонстрация работы российского робот-ассистирующего хирургического комплекса, г. Пенза, март 2018 г.

ком предстательной железы. Следует отметить, что до настоящего времени не проводилось мультицентровых рандомизированных исследований, которые позволили бы сравнить результаты робот-ассистированных операций и радикальной позадилоной простатэктомии. В ряде обсервационных и когортных исследований отмечены лучшие или сопоставимые онкологические результаты и функциональные исходы робот-ассистированной радикальной простатэктомии по сравнению с "открытой" радикальной позадилоной простатэктомией. Вместе с тем известно, что лучшие результаты лечения рака предстательной железы определяются в значительной степени опытом оперирующего врача и опытом клинического центра, где проводится лечение.

В обзоре [1] показано, что при робот-ассистированной радикальной простатэктомии по сравнению с лапароскопической операцией выше частота восстановления эректильной функции (RR^1 1,51), а также частота восстановления удержания мочи (RR 1,14). В одном из немногочисленных проспективных рандоми-

зированных исследований [2] также продемонстрировано, что при 5-летнем наблюдении после робот-ассистированной радикальной простатэктомии по сравнению с лапароскопической радикальной простатэктомией при сходных онкологических результатах отмечается более высокая частота восстановления эректильной функции (OR^2 2,35) и удержания мочи (OR 2,47).

Лучшие функциональные и иные результаты робот-ассистированной радикальной простатэктомии обусловлены новым пониманием хирургической анатомии малого таза, изменением подхода к выделению и сохранению наружного сфинктера мочеиспускательного канала и сосудисто-нервных пучков, дополнительными возможностями обучения начинающих хирургов, а также усовершенствованием протоколов гистоморфологического исследования удалённой с принципиально иной прецизионностью предстательной железы. Кроме того, развитие систем роботического интраоперационного трёхмерного изображения показало, что в эпоху современных технологий основной для хирурга является именно визуализация, а не пальпация.

Очевидно, что сравнительно быстрое развитие и широкое внедрение в клиническую практику робот-ассистированной хирургии стало возможным с учётом изменившихся пожеланий пациентов и членов их семей. В свою очередь, наличие в руках врачей такого инструмента, как робот, стимулировало многих пациентов обратить более пристальное внимание на своё здоровье: в част-

¹ RR (risk ratio, relative risk) — относительный риск. В медицинской статистике и эпидемиологии — соотношение риска наступления определённого события у лиц, подвергшихся воздействию фактора риска, и лиц в контрольной группе.

² OR (odds ratio) — соотношение шансов. Характеристика, применяемая в математической статистике для количественного описания тесноты связи признака А с признаком Б в некоторой статистической популяции.

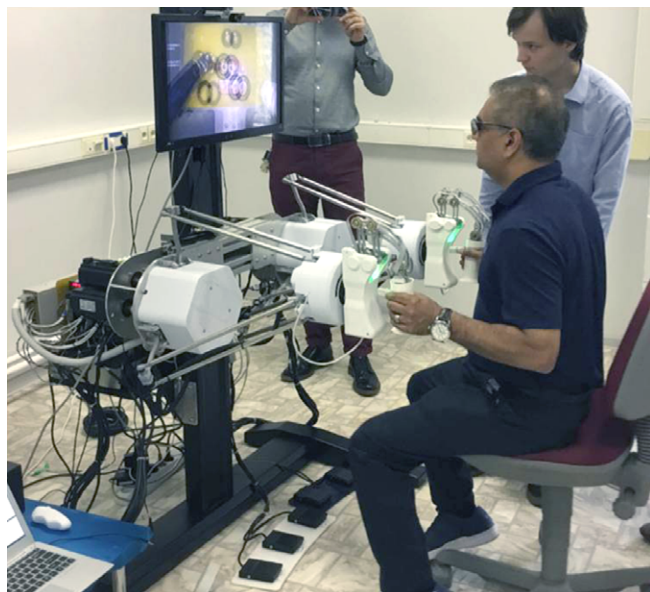


Фото 2. Один из ведущих специалистов в мире по робот-ассистированной хирургии профессор В. Патель проводит манипуляции с помощью российского робота на модели пациента

ности, известно, что многие мужчины впервые сдали анализ крови на простат-специфический антиген и пришли на приём к урологу, услышав о существовании хирургического робота [3].

К сожалению, ожидания многих пациентов, связанные с применением робот-ассистированных операций, завышены. Поиск достоверной информации о роботических операциях и центрах робот-ассистированной хирургии затруднён, а реклама как в российских, так и в зарубежных СМИ зачастую содержит недостоверные сведения [4].

При оценке возможных путей дальнейшего совершенствования робот-ассистированных операций нам представляется довольно перспективной разработка роботов — конкурентов "Да Винчи" с меньшей стоимостью оборудования — и создание инструментов нового типа. Важным этапом совершенствования технологии может стать активно изучаемая однопортовая хирургия, предусматривающая введение всех инструментов и видеокamеры через единый, специально разработанный порт.

К настоящему времени наибольший опыт проведения робот-ассистированных операций в России накоплен в клинике урологии Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова Минздрава России на базе Городской клинической больницы им. С.И. Спасокукоцкого (ранее — Городская клиническая больница № 50) Департамента здравоохранения г. Москвы [5–8]. С 2008 г. специалистами клиники выполнено более 1500 робот-ассистированных операций, выпущена первая в России монография по роботической хирургии.

Ими подготовлено и выпущено в свет наибольшее количество публикаций по указанной тематике, в том числе утверждённые Департаментом здравоохранения Москвы методические рекомендации "Обучение робот-ассистированной хирургии", "Робот-ассистированная урогинекология и реконструктивная хирургия", "Робот-ассистированная хирургия верхних мочевых путей", "Робот-ассистированные хирургические системы", "Радикальная простатэктомия открытая и робот-ассистированная", "Робот-ассистированная радикальная цистэктомия". Защищены 2 диссертации на соискание учёной степени доктора медицинских наук по тематике, связанной с робот-ассистированными операциями.

В 2014 г. на базе клиники создан Центр оперативной робот-ассистированной и реконструктивной урологии, разработана программа обучения роботических хирургов. На протяжении нескольких лет клиника сотрудничает с секцией Европейской ассоциации урологов по робот-ассистированной хирургии в области разработки Европейской программы обучения роботической простатэктомии, а также принимает участие в проекте "24 часа робот-ассистированных операций в прямом эфире" (единственная клиника из Восточной Европы).

Совместно с междисциплинарной группой учёных Института конструкторско-технологической информатики РАН (директор — доктор технических наук С.А. Шептунов) сотрудниками клиники разработан отечественный робот-ассистирующий комплекс, продемонстрированный в Международном информационном агентстве "Россия сегодня" в апреле 2017 г. В ноябре 2017 г. завершена разработка манипулятора, контроллера хирурга, системы управления и экспериментального образца хирургического комплекса в целом. В марте 2018 г. в Пензе впервые выполнена операция на живом животном (фото 1). Робот-ассистирующий комплекс создан в России из российских комплектующих, что позволяет не зависеть от мировой экономической ситуации и поддерживать стоимость на адекватном уровне (фото 2).

Помимо вышеперечисленных качеств, комплекс высокоточен и позволяет при наличии соответствующей оптики проводить вмешательства с разрешением вплоть до клеточного. Такие характеристики недоступны ни одному зарубежному разработчику, что позволяет заявить о переходе на новый уровень робот-ассистированной хирургии и активно конкурировать на мировом рынке роботохирургического оборудования и услуг, который растёт до 20% ежегодно и, по прогнозам, к 2024 г. составит 20 млрд долл.

Развитие медицинских технологий привело к широкому внедрению в клиническую практику

робот-ассистированной хирургии. Число минимально инвазивных операций при помощи робота "Да Винчи" неуклонно растёт по всему миру, чему в значительной степени способствует изменение характеристик и запросов современных пациентов, в частности, больных раком предстательной железы, а также иная оценка качества жизни больных после робот-ассистированных вмешательств.

Преимущества и ограничения робот-ассистированных операций изучены достаточно хорошо (по состоянию на 14.12.2018 в поисковой системе Pubmed имеется более 16 тыс. публикаций о робот-ассистированной хирургии). Очевидна необходимость совершенствования существующих роботических систем и инструментов, над чем активно работают научные коллективы по всему миру, в том числе и в России. Отечественный робот-ассистирующий комплекс имеет ряд описанных выше уникальных характеристик, превосходящих характеристики существующих или разрабатываемых западными фирмами систем, что в перспективе может позволить российским учёным и клиницистам перейти на новый уровень проведения робот-ассистированных хирургических операций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Allan C., Ilic D. Laparoscopic versus robotic-assisted radical prostatectomy for the treatment of localised prostate cancer: a systematic review // *Urol. Int.* 2016. V. 96. № 4. P. 373–378.
2. Porpiglia F., Fiori C., Bertolo R. et al. Five-year outcomes for a prospective randomised controlled trial comparing laparoscopic and robot-assisted radical prostatectomy // *Eur. Urol. Focus.* 2018. V. 4. № 1. P. 80–86.
3. Rassweiler J.J., Autorino R., Klein J. et al. Future of robotic surgery in urology // *BJU Int.* 2017. V. 120. № 6. P. 822–841.
4. Matsushita K., Endo F., Shimbo M., Hattori K. Web promotion of da Vinci robotic prostatectomy exhibits varying sexual health information // *European Urology Supplements.* 2017. V. 16. № 3. e1444.
5. Говоров А.В., Васильев А.О., Прилепская Е.А. и др. Сальважная робот-ассистированная радикальная простатэктомия после брахитерапии: наш опыт // *Онкоурология.* 2014. № 3. С. 64–68.
6. Пушкарь Д.Ю., Дьяков В.В., Васильев А.О., Котенко Д.В. Сравнение функциональных результатов после радикальной позадилоной и робот-ассистированной простатэктомии, выполненных по нервосберегающей методике хирургами с опытом более 1000 операций // *Урология.* 2017. № 1. С. 50–53.
7. Васильев А.О., Ширяев А.А., Говоров А.В. и др. Кишечная непроходимость в раннем послеоперационном периоде после робот-ассистированной радикальной простатэктомии // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2018. № 4. С. 90–93.
8. Прилепская Е.А., Мальцев Е.Г., Колонтарев К.Б. и др. Сравнительный анализ функциональных и онкологических результатов радикальной простатэктомии — позадилоной, лапароскопической и робот-ассистированной // *Онкоурология.* 2015. № 4 (11). С. 54–58.

ROBOT-ASSISTED SURGERY

© 2019 D.Y. Pushkar*, A.V. Govorov**, K.B. Kolontarev***

Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russia

*E-mail: pushkardm@me.com, **E-mail: dr.govorov@gmail.com,

***E-mail: kb80@yandex.ru

Received: 02.12.2018

Revised version received: 14.12.2018

Accepted: 24.12.2018

Robot-assisted surgery is widely used in many fields of medicine, including urology. The paper (based on RAS plenary presentation from November 14th 2018) discusses advantages and disadvantages of robot-assisted operations, provides statistical data concerning the number of installed robotic systems and annually performed procedures in Russia and worldwide. Possibilities of robotic training, ways of furthering surgical robot development as well as perspectives of innovative Russian robot-assisted systems are also presented and discussed.

Keywords: robot-assisted surgery, surgical robot, radical prostatectomy, prostate.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МЕДИЦИНЫ: ПОТРЕБНОСТИ ОБЩЕСТВА И БИЗНЕСА

© 2019 г. Д.В. Морозов*, Р.А. Иванов**, П.М. Гершович***,
Н.Е. Пестова****, М.В. Петрова*****

Биотехнологическая компания "Биокад", Санкт-Петербург, Россия

E-mail: morozov@biocad.ru; **E-mail: ivanov@biocad.ru; *E-mail: gershovich@biocad.ru;*

*****E-mail: pestova@biocad.ru; *****E-mail: petrovamv@biocad.ru*

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 24.12.2018 г.

Принята к публикации 19.02.2019 г.

В настоящее время генетические технологии играют ключевую роль в разработке новых подходов к диагностике и лечению заболеваний. Российские учёные уже успешно внедрили в практику эффективные препараты на основе моноклональных антител и ведут разработки в области CAR-T-терапии и генотерапевтических препаратов на основе рекомбинантных аденоассоциированных вирусов. Также в практику внедряются инструменты генодиагностики, позволяющие существенно повысить эффективность медицинской помощи за счёт персонализированного подхода к лечению заболеваний. Успешное внедрение новейших технологий и современных методов диагностики и лечения невозможно без сотрудничества академической науки и бизнеса. Компании, создающие условия для сотрудничества с академической наукой, привлечения специалистов разного профиля, приближают массовое внедрение генетических технологий, а значит, победу над многими ранее неизлечимыми социально значимыми заболеваниями.

Ключевые слова: генетические технологии, моноклональные антитела, пролголимаб, нетакимаб, иммуноонкология, генотерапия, CAR, CAR-T-терапия, AAV, генодиагностика, секвенирование генома.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895470-474>

Генетические технологии — основной драйвер развития современной медицины и фармацевтики не только на Западе, но и в России. Наша компания уже разработала и внедрила в производство аналоги многих современных биотехнологических препаратов. Разработки обеспечивают импортозамещение, несут большой экономический эффект, но главное — повышают доступность эффективной терапии в России. Например, появление на рынке нашего биоаналога трастузумаба — препарата, жизненно необходимого для значительной части пациентов с раком мо-

лочной железы, — за два года позволило снизить стоимость лечения на 65%. В 2017 г. трастузумаб получило на 68% больше больных, чем в 2015 г., при этом уже на второй год после начала выпуска препарата экономия бюджетных средств достигла 2,5 млрд руб.

После успешного освоения технологии производства биоаналогов мы обладаем всеми необходимыми компетенциями для разработки оригинальных биотехнологических препаратов. В конце 2018 г. наша компания представила 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, ещё у трети больных рост опухоли останавливается. У больных, ранее не получавших терапии, частота ответа опухоли на лечение достигает 42%. Ожидается, что выход пролголимаба существенно снизит стоимость лечения пациентов и сделает современные иммуноонкологические препараты доступнее для них. Мы уверены,

МОРОЗОВ Дмитрий Валентинович — генеральный директор ЗАО "Биокад". ИВАНОВ Роман Алексеевич — кандидат медицинских наук, заместитель генерального директора по биомедицинским исследованиям и развитию ЗАО "Биокад". ГЕРШОВИЧ Павел Михайлович — кандидат биологических наук, руководитель лаборатории цитологии ЗАО "Биокад". ПЕСТОВА Наталья Евгеньевна — руководитель лаборатории диагностических исследований ЗАО "Биокад". ПЕТРОВА Мария Владимировна — старший партнёр по управлению персоналом ЗАО "Биокад".

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 тяжёлого псориаза, — также показал хорошие результаты в рамках клинических исследований. Исследование II фазы показало, что применение нетакимаба в течение года позволяет достичь PASI75 (уменьшения площади псориатических бляшек более чем на 75%) у более чем 98% пациентов. Примерно у половины пациентов достигнуто полное исчезновение проявлений псориаза (PASI100). При этом эффект препарата удивительно стабилен: ни у одного из пациентов с "полным ответом" не отмечено повторного появления симптомов заболевания после приёма препарата в максимальной дозе.

В октябре 2018 г. проанализированы результаты 12-недельной терапии псориаза нетакимабом в рамках исследования III фазы. В исследовании приняли участие 213 пациентов. Через 12 недель как в группе введения препарата 1 раз в 2 недели, так и в группе введения 1 раз в 4 недели около 80% достигли 75%-ного уменьшения площади псориатических бляшек. В группе плацебо такой эффект не был достигнут ни у одного пациента. Наблюдение за больными продолжается с целью оценки эффективности годового курса терапии.

В исследовании II фазы в рамках терапии нетакимабом анкилозирующего спондилита (болезни Бехтерева) более чем у 70% пациентов при применении нетакимаба в максимальной дозе было достигнуто более чем 40%-ное снижение выраженности симптомов заболевания. Примечательно, что во всех исследованиях безопасность препарата не имела отличий от плацебо.

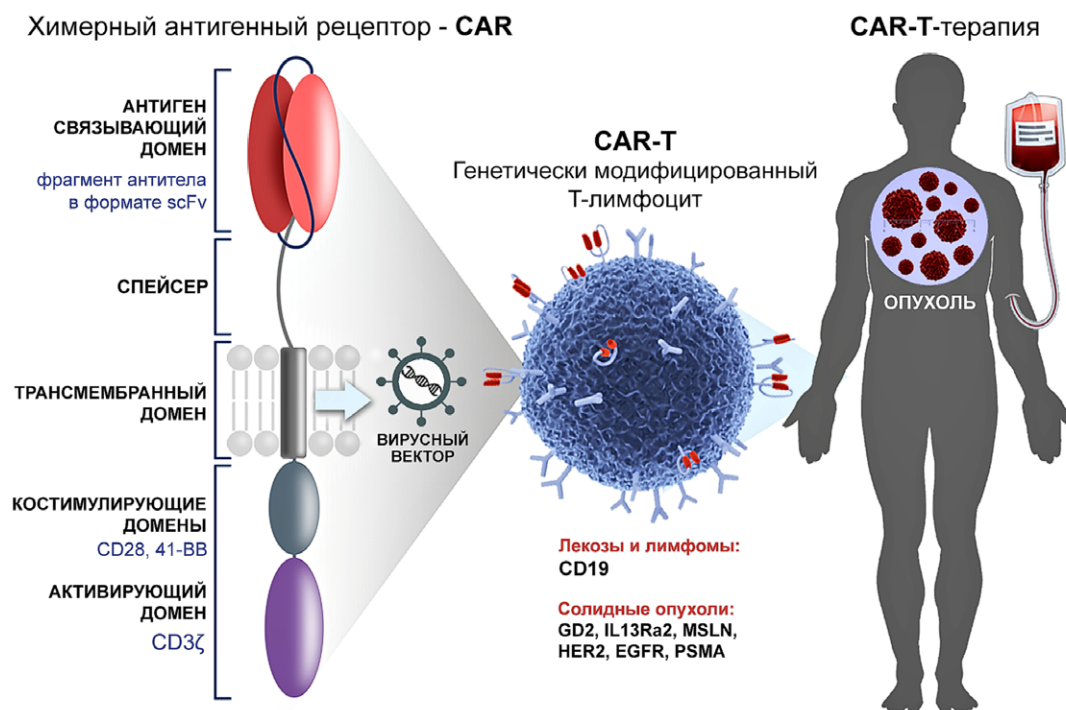
Следующий наш шаг — разработка генотерапевтических лекарственных препаратов, ставшая возможной благодаря активному развитию генетических технологий в последние 10–15 лет. Это новое поколение препаратов, механизм действия которых основан на модификации генетического аппарата клеток человека [1]. Сегодня это единственный эффективный способ борьбы со многими тяжёлыми наследственными заболеваниями, которые прежде считались неизлечимыми [2].

Механизм действия генотерапевтических препаратов основан на проникновении генетической конструкции в клетку, где происходит либо интеграция трансгена в геном, либо его эписомальная (внехромосомная) локализация. На сегодня наиболее удобным инструментом для такой генной терапии считаются аденоассоциированные вирусы (AAV) [3, 4]. Они отличаются безопасностью, отсутствием патогенно-

сти и низкой иммуногенностью для человека. Их используют в качестве системы доставки, и в последние 10 лет это решение стало в генной терапии наиболее распространённым и универсальным. Уже существуют десятки схем доставки трансгенов *in vivo*, в которых применяются рекомбинантные аденоассоциированные вирусы (rAAV) [5]. Создание на их основе отечественных генотерапевтических препаратов для лечения моногенных наследственных заболеваний, не поддающихся традиционному лечению, — гемофилии А и Б [6], миодистрофии Дюшенна [7], спинальной мышечной атрофии [8], глазных патологий [9] и других — одна из важнейших задач для разработчиков на ближайшие годы.

Для эффективной генной терапии нового поколения, которая могла бы применяться при лечении тяжёлых генетических заболеваний, решающее значение имеют поиск и получение новых серотипов rAAV с уникальным тропизмом и с повышенной пакующей ёмкостью. Для создания инновационных векторов доставки в организм пациента "терапевтических генов" ведутся разработки в области улучшения свойств имеющих природных серотипов вирусных капсидов: придание rAAV-векторам высокой тканеспецифичности, увеличение ёмкости экспрессионной кассеты AAV с целью доставки трансгенов большего размера. Достижение этих целей позволит существенно расширить круг нозологий, поддающихся заместительной генной терапии.

Терапевтические генетические технологии позволили создать новый вид противоопухолевой терапии, основанной на модификации иммунных клеток человека. Этот инновационный метод лечения совмещает в себе технологии клеточной терапии и генной инженерии. Наиболее эффективная адаптивная клеточная иммунотерапия — CAR-T-терапия, основанная на введении в организм пациента аутологических или аллогенных Т-лимфоцитов. Они подвергаются *ex vivo* генетической модификации и экспрессируют на своей поверхности химерный антигенный рецептор (CAR, от англ. Chimeric antigen receptor) [10, 11], способный узнавать опухолевые антигены и связываться с ними. При В-клеточных лимфопрлиферативных новообразованиях CAR-рецепторы нацелены на связывание с маркером нормальных и трансформированных В-клеток поверхностным антигеном CD19. В клинических исследованиях CD19 CAR-T-терапия показывает высокую эффективность в лечении злокачественных новообразований В-клеток (острого лимфобластного лейкоза из В-клеток, неходжкинских лимфом, хронического лимфолейкоза) — до 82% полных ремиссий [12, 13]. В последние 5 лет количество разработок в области адаптивной клеточной им-



Адаптивная клеточная иммунотерапия на основе CAR-T-лимфоцитов

мунотерапии генетически модифицированными Т-лимфоцитами возросло на порядок [14] (рис.).

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 [15]. Сейчас проводятся 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 сопутствующих побочных эффектов. Для этого наши учёные ведут поисковые работы по созданию технологий комплексной генетической модификации иммунных клеток человека: выключение экспрессии Т-клеточного рецептора и молекул главного комплекса гистосовместимости, внедрение в CAR-T клетки молекулярных индуцибельных систем "антидотов", тестирование комбинаций CAR-T-терапии с иммуноонкологическими препаратами — моноклиральными антителами, ингибиторами контрольных точек и иммуноцитокинами. Создание универсального CAR-T способно повысить доступность терапии, понизив её стоимость.

Разработки варьируются по степени готовности от доклинических исследований до III фазы клинических испытаний. И мы надеемся, что уже в ближайшие годы российская фарминдустрия одержит победу над ранее неизлечимыми заболеваниями. Создание генотерапевтических препаратов для лечения заболеваний, не поддающихся традиционному лечению, — один из наших важнейших приоритетов.

Ещё одна активно развивающаяся область применения генетических технологий — генодиагностика. Роль генетической информации возрастает при одновременном удешевлении технологий её получения. 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 её использования можно считать комплексный подход к диагностике онкологических заболеваний, в рамках которого на основе морфологии и "молекулярной сигнатуры" опухоли, опухолевого микроокружения и анализа микробиома формируется индивидуальная комбинация вариантов терапии.

Внедрение современных методов генодиагностики — необходимое условие успешного применения генной терапии. Но её широкое распространение в России невозможно без создания отечественных секвенаторов нового поколения, основанных на новых физических принципах.

Новое оборудование и технологии обеспечат высокое качество и низкую стоимость полногеномного секвенирования, создание собственных баз данных генетической информации и инструментов её анализа, что сделает метод более доступным и, следовательно, более массовым. Именно поэтому сотрудничество коммерческих компаний и академических учреждений в этой высококонкурентной технологической нише нам кажется особенно перспективным. Создание условий для формирования консорциумов специалистов мультидисциплинарного уровня позволит обеспечить широкое распространение технологий получения генетической информации в медицине.

Для реализации проектов по развитию передовых генетических технологий необходимы специалисты с уникальными компетенциями, потребность в которых постоянно растёт. За последние 3 года штат научных сотрудников в компании "Биокад" вырос в 2 раза. Ежегодно компании требуются ещё 150–200 высококвалифицированных сотрудников, способных поддерживать увеличение числа проектов и направлений исследований. Прежде всего это должны быть специалисты в области генетики, клеточной и молекулярной биологии.

Несмотря на высокий уровень подготовки кадров естественно-научного направления, которым славится Россия, академическая наука не всегда успевает за изменениями в фармацевтической отрасли и её потребностями. Именно поэтому мы считаем оптимальной моделью, способной предотвратить недостаток кадров, сотрудничество бизнеса и науки в области обучения. Компания "Биокад" открыта для стажировок студентов различных направлений. Более того, она реализовала более 10 масштабных проектов, среди которых и магистерские программы. Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет готовит студентов по направлению "Биомедицина и биоинженерия", Московский физико-технический институт — по направлению "Биоинформатика", а факультет в Пущинском государственном естественно-научном институте — по направлению "Молекулярная и клеточная биотехнология". Совместные образовательные программы дают фундаментальные университетские знания и обогащают их реальными практическими навыками, которые студенты оттачивают на решении прикладных задач — в процессе работы над реальными проектами компании. Подход показывает отличные результаты: почти все выпускники профильной программы Пущинского государственного естественно-научного института трудоустроены в компании "Биокад".

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 г. в рамках сотрудничества с Новосибирским государственным университетом 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 вести подготовку студентов с учётом потребностей и изменений индустрии, которые произойдут в ближайшие 5–10 лет. Но польза от этого сотрудничества чувствуется уже сейчас: удаётся предоставлять рабочие места для выпускников научных специальностей и почти полностью удовлетворять потребности бизнеса в молодых квалифицированных кадрах, необходимых для запуска инновационных проектов, в том числе внедрения современных генетических технологий.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Финансирование доклинических и клинических исследований препаратов нетакимаб и пролголимаб частично осуществлялось за счёт бюджетных средств, полученных в соответствии с государственными контрактами и договорами субсидий, заключёнными в рамках Федеральной целевой программы "Развитие фармацевтической и медицинской промышленности Российской Федерации на период до 2020 года и дальнейшую перспективу".

ЛИТЕРАТУРА

1. Dunbar C.E., High K.A., Joung J.K. et al. Gene therapy comes of age // *Science*. 2018. V. 359. P. eaan4672.
2. Kumar S.R., Markusic D.M., Biswas M. et al. Clinical development of gene therapy: results and lessons from recent successes // *Mol. Ther. — Methods & Clin. Dev.* 2016. V. 3. P. 16034.
3. Анарцин Е.К., Кнауэр Н.Ю. Методы доставки генетического материала в клетки и возможности их применения в генной терапии // *Гены и клетки*. 2016. № 2. С. 32–41.
4. Naso M.F., Tomkowicz B., Perry W.L., Strohl W.R. Adeno-Associated Virus (AAV) as a Vector for Gene Therapy // *BioDrugs*. 2017. V. 31. P. 317–334.
5. Colella P., Ronzitti G., Mingozzi F. Emerging Issues in AAV-Mediated In Vivo Gene Therapy // *Mol. Ther. — Methods & Clin. Dev.* 2018. V. 8. P. 87–104.
6. Doshi B.S., Arruda V.R. Gene therapy for hemophilia: what does the future hold? // *Ther. Adv. Hematol.* 2018. V. 9(9). P. 273–293.

7. Duan D. Systemic AAV Micro-dystrophin Gene Therapy for Duchenne Muscular Dystrophy // *Mol. Ther.* 2018. V. 26 (10). P. 2337–2356.
8. Parente V., Corti S. Advances in spinal muscular atrophy therapeutics // *Ther. Adv. Neurol. Disord.* 2018. V. 11:1756285618754501.
9. Takahashi V.K.L., Takiuti J.T., Jauregui R., Tsang S.H. Gene therapy in inherited retinal degenerative diseases, a review // *Ophthalmic Genet.* 2018. V. 39 P. 560–568.
10. Кулемзин С.В., Кузнецова В.В., Мамонкин М. и др. Основы дизайна химерных антигенных рецепторов // *Acta Naturae* (русскоязычная версия). 2017. № 1. С. 6–15.
11. Павлова А.А., Масчан М.А., Пономарёв В.Б. Адаптивная иммунотерапия генетически модифицированными Т-лимфоцитами, экспрессирующими химерные антигенные рецепторы // *Онкогематология*. 2017. № 1. С. 17–32.
12. Davila M.L., Sauter C., Brentjens R. CD19-Targeted T-Cells for Hematologic Malignancies: Clinical Experience to Date // *Cancer. J.* 2015. V. 21 (6). P. 470–474.
13. Park J.H., Geyer M.B., Brentjens R.J. CD19-targeted CAR T-cell therapeutics for hematologic malignancies: interpreting clinical outcomes to date // *Blood*. 2016. V. 127 (26). P. 3312–3320.
14. Knochelmann H.M., Smith A.S., Dwyer C.J. et al. CAR T-Cells in Solid Tumors: Blueprints for Building Effective Therapies // *Front Immunol.* 2018. V. 9. P. 1740.
15. Петухов А.В., Маркова В.А., Моторин Д.В. и др. Получение CAR Т-лимфоцитов, специфичных к CD19, и оценка их функциональной активности *in vitro* // *Клиническая онкогематология. Фундаментальные исследования и клиническая практика*. 2018. № 1. С. 1–9.

GENETIC TECHNOLOGIES FOR MEDICINE: THE DEMANDS OF SOCIETY AND BUSINESS

© 2019 D.V. Morozov*, R.A. Ivanov**, P.M. Gershovich***,
N.E. Pestova****, M.V. Petrova*****

Biotechnology company CLSC "Biocad", St. Petersburg, Russia

*E-mail: morozov@biocad.ru; **E-mail: ivanov@biocad.ru; ***E-mail: gershovich@biocad.ru;

****E-mail: pestova@biocad.ru; *****E-mail: petrovamv@biocad.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 24.12.2018

Accepted: 19.02.2019

Genetic technologies play a key role in the development of new approaches to the diagnostics and therapy of diseases. Russian scientists who have already successfully developed effective drugs based on monoclonal antibodies are elaborating new products in the field of CAR-T-therapy and recombinant adeno-associated viruses-based gene therapy. In addition, implementation of gene diagnostics into practice allows increased efficiency of medical care through a personalized approach to the treatment of diseases. Successful implementation of new technologies and novel diagnostic and treatment methods is impossible without the cooperation of academic science and business. Companies that create favorable conditions for the cooperation with academic science and attracting specialists of various profiles are bringing the mass adoption of genetic technologies, and therefore, enabling victory over many previously incurable, socially significant diseases.

Keywords: genetic technologies, monoclonal antibodies, prolgolimab, netakimab, immuno-oncology, gene therapy, CAR, CAR-T-therapy, AAV, gene diagnostics, genome sequencing.

ОБЕСПЕЧАТ ЛИ ОНКОЛИТИЧЕСКИЕ ВИРУСЫ РЕВОЛЮЦИЮ В ОНКОЛОГИИ?

© 2019 г. П.М. Чумаков

Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, Москва, Россия
Федеральный научный центр исследований и разработки иммунобиологических препаратов
им. М.П. Чумакова РАН, Москва, Россия
E-mail: chumakovpm@yahoo.com

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.
 Поступила после доработки 03.02.2019 г.
 Принята к публикации 14.02.2019 г.

Несмотря на многолетнее масштабное изучение природы рака и разработку множества противоопухолевых препаратов, численность заболевших им продолжает расти, а пятилетняя выживаемость онкологических больных, имеющих распространённые метастазы, всё ещё остаётся на недопустимо низком уровне. Автор рассматриваются причины этих неудач, кроющиеся в самой природе злокачественных клеток: они способны адаптироваться и приобретать устойчивость практически к любым системным терапевтическим воздействиям. В этой связи немалые надежды возлагаются на онколитические вирусы, представляющие собой лекарственные средства нового типа и способные к комплексному воздействию на заболевание. Помимо способности напрямую вызывать избирательную гибель опухолевых клеток, онколитические вирусы стимулируют естественные иммунные процессы их распознавания и удаления, снимают иммунную супрессию опухолевого микроокружения и способствуют уничтожению опухолевых клеток, включая опухоль-инициирующие стволовые клетки, устойчивые к большинству существующих терапевтических средств. Для введения вирусной терапии рака в широкую медицинскую практику требуются активизация фундаментальных исследований механизмов вирусного онколиза, разработка новых терапевтических вирусных штаммов, тестов для их персонифицированного подбора, совершенствование методов локальной и системной доставки онколитических вирусов в опухолевые очаги. Потребуются и кардинальные изменения в практике испытаний терапевтических препаратов, ускоряющие внедрение новых вирусных штаммов в медицинскую практику. Достижения в этом направлении позволят преодолеть многие застарелые проблемы в лечении метастатических форм злокачественных заболеваний.

Ключевые слова: онколитические вирусы, вирусный онколиз, противоопухолевая терапия, иммунотерапия рака, ингибиторы контрольных иммунных точек, опухолевая прогрессия, устойчивость к терапии, опухолевые стволовые клетки, рецидивы онкологических заболеваний, персонифицированная терапия.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895475-484>

Проблемы системной терапии злокачественных заболеваний. Блестящие успехи медицины в борьбе с инфекционными заболеваниями в середине прошлого века выдвинули на первый план проблему борьбы с раком. Наиболее эффективным подходом к его терапии было и остаётся радикальное хирургическое удаление опухоли, что позволяет в случае ранней постановки диагноза добиваться выздоровления. Однако если злокачественный процесс распространился

в виде метастазов, хирургическое лечение может оказать лишь паллиативное действие, а для эффективной терапии требуются специфические системные меры.

На поиск эффективных методов лечения рака за последние 70 лет были привлечены беспрецедентные интеллектуальные и материальные ресурсы. Проблемы рака стали основным двигателем и главной целью финансовых вложений в фундаментальные исследования в области биологии и медицины. За это время удалось изучить основы функционирования живых систем на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. По мере выявления характерных особенностей раковых клеток, их фундаментального отличия от нормальных разрабатывались много-

ЧУМАКОВ Пётр Михайлович — доктор биологических наук, заведующий лабораторией пролиферации клеток ИМБ им. В.А. Энгельгардта РАН, заведующий отделом инновационных иммунобиологических и биотехнологических препаратов ФНЦИРИП им. М.П. Чумакова РАН.

численные средства системной терапии как широкого спектра действия, так и воздействующие на уникальные мишени отдельных форм злокачественных заболеваний (таргетная терапия). В числе этих средств — цитотоксические химиопрепараты, лучевая терапия, гормоны и их ингибиторы, специфические химические ингибиторы метаболических процессов и моноклональные антитела.

Большие успехи были достигнуты и в разработке методов визуализации опухолевого процесса, определения характерных генетических молекулярных автографов опухолевых клеток, позволяющих проводить тонкую персонализированную оценку отдельных случаев заболевания, разделяя их на подгруппы, имеющие различия в прогнозе и реакции на терапию. Таким образом закладывались основы индивидуального подхода к лечению, повышающего эффективность системной терапии.

К сожалению, несмотря на все эти достижения, главный показатель, характеризующий эффективность терапии, — пятилетняя выживаемость пациентов — за последние 30 лет увеличился всего на 2–7% [1] в зависимости от формы рака. Заболеваемость продолжает расти даже в развитых странах с современной медицинской инфраструктурой, растёт и смертность. Особенно тревожен показатель пятилетней выживаемости пациентов, чей диагноз был поставлен уже на стадии метастатического распространения процесса. Например, в США рак лёгкого на этой стадии впервые выявляется в 57% случаев, причём пятилетняя выживаемость остаётся на уровне всего 4,3% [2].

Становится очевидным, что вопрос об эффективном лечении метастатических форм рака по-прежнему открыт. Существующие схемы его системной терапии с направленным уничтожением опухолевых клеток по их отдельным специфическим свойствам, в том числе и с использованием таргетных препаратов, оказывают лишь краткосрочное действие, они, по сути, паллиативны. Рак, в случае, если заболевание вышло за пределы первичного органа, по-прежнему остаётся преимущественно неизлечимым заболеванием.

Разворот в сторону природоподобных подходов к терапии злокачественных заболеваний. Современная онкология находится на пороге качественных изменений в отношении стратегии терапии. Полученные в последние годы обширные знания о биологии нормальной и опухолевой клетки, системах контроля за генетической стабильностью клеток в многоклеточном организме, механизмах канцерогенеза и опухолевой прогрессии указывают на бесперспективность дальнейших попыток создания всё новых изоц-

рённых и дорогостоящих таргетных препаратов. Они с неизбежностью окажутся не более действенными, чем уже существующие. Даже вызывая ремиссии различной продолжительности, эти препараты не вносят существенного вклада в повышение индекса пятилетней выживаемости, тем более полного выздоровления.

Настоятельно требуется переосмысление негативного опыта системной терапии рака, необходимо расстаться с прежними иллюзиями и выработать новые направления движения, дающие надежду на качественный прорыв. Неудачи терапии на основе уничтожения опухолевых клеток по характерным, порой уникальным признакам следуют из природы опухолевой клетки, обладающей колоссальной изменчивостью. Вместо настойчивого поиска новых таргетных препаратов следует обратиться к использованию механизмов противоопухолевой защиты, созданных самой природой. Эти механизмы охраняют нас на протяжении всей жизни, и только их ослабление создаёт условия для накопления критической массы изменённых клеток, запускающих процессы опухолевой прогрессии.

Онкологические заболевания не запрограммированы природой, а оказываются результатом сбоев, нарушений естественных механизмов, обеспечивающих сохранение здоровья на протяжении всей жизни. Поэтому изучение естественных механизмов противоопухолевой защиты может дать ключ к созданию эффективных средств борьбы с раком. В последние годы в онкологии наблюдается постепенный разворот в сторону биотерапии. Терапия будущего должна быть направлена на восстановление и усиление естественных механизмов распознавания и уничтожения патологических клеток, исключая возможность их накопления и формирования опухоли.

Причины низкой эффективности системной терапии злокачественных заболеваний. В отличие от нормальных клеток раковая клетка перестаёт быть частью организма, она перестаёт подчиняться сигналам, которые определяют её роль, место, функции и адекватное поведение. Это происходит в результате генетических или эпигенетических повреждений во внутриклеточной системе контроля, оценивающей поведение каждой клетки и принимающей решения о её дальнейшей судьбе. Центральный компонент этой системы — опухолевый супрессор p53 [3], функция которого заключается в интегрировании сигналов, поступающих от многочисленных процессов внутри и вне клетки, с последующим запуском судьбоносных решений, которые либо способствуют адаптации клетки к меняющимся условиям, либо запускают необратимые процессы клеточного самоуничтожения [4].

Система внутриклеточного контроля генетической стабильности надёжно охраняет клетки от приобретения генетических и эпигенетических изменений, гарантирует защиту от злокачественной трансформации. В случае же, если мутагенный процесс затрагивает компоненты самой p53-зависимой системы контроля, происходит катастрофа, приводящая к появлению клеток, вступающих на путь автономии и неограниченной эволюции внутри организма. Такие клетки, по сути, становятся самостоятельным паразитическим одноклеточным организмом, вступающим в конкурентную борьбу с нормальными клетками и другими клетками опухоли. Приобретая дополнительные мутации, опухолевая клетка стремится к экспансии, вырабатывает приёмы для обеспечения достаточного кровоснабжения, преодоления тканевых барьеров и действия иммунной системы. Как следствие, в составе опухоли формируется множество генетически различающихся субпопуляций клеток, которые могут по-разному реагировать на применяемую терапию, — под её воздействием происходит постоянная селекция наиболее устойчивых субпопуляций.

Дополнительная причина устойчивости к системной терапии — наличие в опухоли субпопуляции клеток, находящихся в особом физиологическом состоянии. Их обычно идентифицируют как стволовые клетки опухоли [5], поскольку они обладают рядом маркеров стволовых клеток и обладают способностью к асимметричному делению, когда одна дочерняя клетка сохраняет стволовые свойства, а другая далее может совершать обычные симметричные деления и не отличается от клеток основной массы опухоли. Стволовые клетки характеризуются особенностями метаболизма и чрезвычайно устойчивы к лучевой и цитотоксической терапии, лишены характерных мишеней, на которые могут воздействовать таргетные препараты. Такие клетки можно характеризовать как споры, способные обеспечивать выживаемость одноклеточного организма в неблагоприятных условиях. После успешного курса химиотерапии, когда большая масса опухоли погибает, часть стволовых клеток остаётся жизнеспособной, что впоследствии проявляется в виде рецидива заболевания.

Подводя неутешительный итог описания существующего состояния системной терапии рака, можно констатировать, что опухолевые клетки, берущие начало в организме больного, наследуют практически неограниченный арсенал механизмов, комбинируя которые они могут адаптироваться для сохранения жизнеспособности и экспансии в любых условиях и при любых воздействиях.

Природные механизмы противоопухолевой защиты. В организме существует три уровня механизмов, обеспечивающих надёжную защиту от злокачественной патологии. На уровне клетки это уже упомянутая система, контролируемая опухолевым супрессором p53, которая эффективно останавливает или убивает появляющиеся патологические клетки. Помимо системы p53, действует и ряд других внутриклеточных механизмов, ограничивающих возможность автономного существования изменённых клеток.

Следующий уровень защиты связан с функцией врождённых (не адаптивных) механизмов иммунной системы. Их задача — постоянный иммунный надзор за появлением патологических клеток. Иммунные клетки, главным компонентом которых являются NK-клетки, способны распознавать повреждённые и изменённые клетки по характерным молекулярным автографам и уничтожать их на месте выявления в режиме реального времени.

В случае накопления изменённых (опухолевых) клеток подключается третий уровень защиты — адаптивная иммунная система, распознающая неоантигены опухолевых клеток, возникающие в результате генетических изменений или нарушений регуляции экспрессии генов. Против таких антигенов формируется Т-клеточный иммунный ответ, проявляющийся в атаке цитотоксических Т-лимфоцитов. В арсенале иммунных механизмов имеется и ряд вспомогательных факторов, представленных многочисленными цитокинами, которые обеспечивают координацию функционирования иммунных клеток, тканевых реакций и проявление цитотоксичности.

Роль опухолевого микроокружения в прогрессировании опухолевого процесса. Формирование злокачественной опухоли происходит в случае ослабления и сбоя защитных механизмов, что может быть связано с генетическими факторами, токсическими воздействиями, возрастными изменениями и хроническими патологиями. В возникшей опухоли начинают проявляться дополнительные механизмы, которые способствуют её развитию. Опухолевые клетки начинают формировать для себя благоприятное микроокружение, обеспечивающее приток питательных веществ, кислорода и защиту от атак иммунной системы [6]. Недостаток кислорода вынуждает опухолевые клетки секретировать ангиогенные факторы, способствующие формированию сети кровеносных сосудов. Выделяемые опухолевыми клетками хемокины привлекают незрелые миелоциты (миелоидные супрессорные клетки), которые обильно инфильтрируют опухоль, стимулируют клеточное деление и защищают от атаки иммунной системы.

Иммуносупрессивное микроокружение формируется опухолевыми клетками в том числе и за счёт способности экспрессировать на своей поверхности так называемые белки контрольных иммунных точек [7], являющихся частью физиологического механизма ослабления иммунной атаки цитотоксическими Т-лимфоцитами в очагах хронического воспаления. Так, опухолевые клетки начинают экспрессировать поверхностные белки, характерные для антиген-презентирующих клеток и способные понижать активность Т-клеток. Белки семейства B7 – CD80 и CD86, экспрессируемые на поверхности опухолевой клетки, взаимодействуют с рецептором CTLA-4 CD8+ Т-лимфоцитов, а белок PD-L1 – с рецептором PD-1, в результате чего происходит блокировка сигналов активации, а также запуск запрограммированной смерти лимфоцита. Благодаря индуцированной опухолевыми клетками иммунной толерантности опухоль получает возможность развиваться и эволюционировать, закрепляя своё присутствие в организме вопреки противодействию иммунной системы.

Открытие механизма защиты опухолевых клеток от иммунной атаки, отмеченное Нобелевской премией 2018 г., представляется поворотным событием, позволяющим существенно повысить эффективность биотерапии рака за счёт реактивации естественных механизмов иммунной защиты. В настоящее время уже разработан ряд терапевтических моноклональных антител, блокирующих способность Т-клеток выключаться под действием иммуносупрессивных сигналов опухолевого микроокружения [8]. В отличие от большинства опухолевых средств эти препараты не токсичны для самих опухолевых клеток, но создают условия для их эффективного удаления за счёт естественных реакций иммунной системы.

Появление ингибиторов контрольных точек можно рассматривать как историческую веху на пути к эффективной терапии, важный компонент будущих терапевтических схем. Синергизм терапевтического действия ожидается, например, при включении ингибиторов контрольных точек в схемы с использованием противоопухолевых вакцин на основе иммунных клеток и адаптивной иммунотерапии с применением химерных антигенных рецепторов (CAR) [9]. Уже сейчас ингибиторы контрольных точек в ряде случаев демонстрируют впечатляющие результаты как при монотерапии, так и в сочетании с традиционными химиотерапевтическими и антиангиогенными препаратами.

Вирусы как потенциальные противоопухолевые средства. Способность вирусов уничтожать опухолевые клетки известна ещё с начала прошлого века. В 1904 г. было опубликовано наблюдение

о ремиссии лейкемии после перенесённого гриппа [10]. Позже появилось ещё несколько сообщений о связи вирусных заболеваний с улучшением состояния онкологических больных. В 1920-е годы выяснилось, что опухолевые клетки могут использоваться для размножения и наработки вирусов. Первые попытки использовать способность вирусов уничтожать раковые клетки были предприняты вскоре после завершения Второй мировой войны. Все известные в то время вирусы являлись возбудителями болезней, поэтому использование патогенов для терапии рака сопровождалось серьёзными осложнениями и на долгие годы сформировало негативное отношение врачей и общества к самой идее вирусной терапии [11]. Интерес к вирусному онколизу стал возрождаться после появления вакцинных аттенуированных вирусных штаммов, установления противоопухолевой активности вирусов животных и открытия природнонепатогенных вирусов человека. В СССР подобные исследования проводились с использованием непатогенных энтеровирусов человека, выделенных из кишечника здоровых детей и разрабатываемых в качестве живых энтеровирусных вакцин для неспецифической профилактики сезонных вирусных инфекций. Испытания этих вирусов демонстрировали случаи длительных ремиссий онкологических заболеваний у некоторых пациентов [12]. Однако недостаток знаний о фундаментальных механизмах вирусного онколиза и непредсказуемость терапевтического действия вирусов привели к временному прекращению исследований в этом направлении.

Систематические и масштабные исследования вирусного онколиза на современном этапе возобновились на основе полученных в последние годы знаний о природе вирусов, причин их патогенности, а также о фундаментальных различиях между нормальными и опухолевыми клетками. Стали возможными искусственные модификации вирусного генома, приводящие к потере патогенности и приобретению избирательности в отношении опухолевых клеток. С начала 1990-х годов были созданы и испытаны десятки штаммов онколитических вирусов, установлены основные механизмы их терапевтического действия [13]. В настоящее время три препарата на базе онколитических вирусов уже одобрены к клиническому использованию в разных странах и ещё несколько находятся на заключительных стадиях клинических испытаний [14]. Испытания в клинике в ряде случаев демонстрируют примеры поразительной эффективности, приводящей к длительным ремиссиям и даже полному излечению больных, страдавших ранее абсолютно смертельными заболеваниями, например мультиформной глио-

бластомой [15, 16]. Всё это указывает на безусловную перспективность вирусной терапии рака. Однако на пути широкого использования вирусов в клинике ещё множество проблем, требующих изучения.

Вирусы как противоопухолевые средства принципиально нового типа. Вирусы являются живыми организмами и потому их использование в терапии принципиально отличается от использования всех других лекарственных средств. Поскольку вирусы способны к репликации в организме пациента, для них крайне условно понятие максимально допустимой дозы. Оптимальная доза должна обеспечить проникновение онколитического вируса в опухолевые клетки, и превышение её не столь опасно, как при введении обычных терапевтических средств. Попадая в клетку, вирус реплицируется, и его доза может существенно возрастать, обеспечивая желаемое лечебное воздействие.

Вирус оказывает сложное и комплексное влияние на организм больного. Ранее считалось, что терапевтический эффект основан преимущественно на способности вируса избирательно реплицироваться в опухолевых клетках и вызывать их гибель. Однако в ходе дальнейших исследований выяснилась не менее важная роль вирусной инфекции в стимулировании процессов противоопухолевого иммунитета, а также воздействия на микроокружение внутри опухоли, устраняющие иммунную супрессию. Чтобы лучше понять механизмы терапевтического действия онколитических вирусов, рассмотрим их в отдельности.

Механизмы вирусного онколиза. В процессе опухолевой прогрессии опухолевые клетки претерпевают эволюцию в направлении увеличения автономии, устранения контроля со стороны организма, ускорения делений и приобретения способности к распространению. Хотя это способствует развитию заболевания, одновременно многие изменения приводят к приобретению повышенной чувствительности к вирусам, опухолевые клетки становятся более доступными для их проникновения [17]. Нарушаются многие тканевые барьеры, в норме препятствующие распространению вирусов. Так, в быстро растущей опухоли идёт стремительное развитие сосудистой сети, обеспечивающей кровоснабжение. От этого новообразованные сосуды неполноценны [18], имеют многочисленные отверстия, через которые вирусы могут проникать в опухоль из кровотока. Строение опухоли также хаотично, отдельные опухолевые клетки утрачивают характерные для нормальных тканей контакты друг с другом. В результате поверхность клеток оказывается незащищённой от контакта с вирусом. Используя

поверхностные трансмембранные рецепторы, вирусы без затруднений могут проникать в клетку, однако это не гарантирует им возможность эффективной репликации.

Взаимодействие вируса с клеткой — это противостояние двух организмов, один из которых (вирус) пытается перехватить контроль над биосинтетическим аппаратом клетки и направить его на нужды собственной репликации, а другой (клетка) использует механизмы защиты от вирусных патогенов. В нормальной клетке действует надёжная система распознавания чужеродных компонентов вирусов, в ответ на которые клетка начинает секретировать интерфероны I типа. Эти противовирусные сигнальные белки связываются со специализированными рецепторами на поверхности клеток, запуская сигнальный каскад, ведущий к приобретению невосприимчивости к вирусной инфекции. Кроме специфического противовирусного действия, интерферон индуцирует приостановку клеточных делений и торможение метаболизма, что ограничивает возможность синтеза вирусных белков и нуклеиновых кислот, поэтому наряду с защитой от вирусов интерфероновые механизмы накладывают потенциальные ограничения на экспансию опухолевых клеток. По этой причине при опухолевой прогрессии происходит отбор клеток, в которых интерфероновые механизмы подавлены в результате мутаций или эпигенетических нарушений [19], что обуславливает селективную избирательность вирусов, принадлежащих к различным семействам, к размножению в клетках опухоли. В результате становится возможным поддержание нескольких циклов перезаражения опухолевых клеток вирусными частицами, образовавшимися после первичного инфицирования небольшого числа опухолевых клеток вносимым препаратом. За счёт этого процесса происходит гибель части опухолевых клеток, а её масштаб зависит от скорости репликации вируса, способности проникать в труднодоступные участки опухоли и от времени, в течение которого развивается противовирусный иммунитет, приводящий к нейтрализации вирусных частиц.

Однако прямое цитолитическое действие вируса на опухолевые клетки — только часть механизма вирусного онколиза. Развивающаяся в опухоли локальная вирусная инфекция оказывает стимулирующее воздействие на врождённые и адаптивные механизмы противоопухолевого иммунитета. В то время как репликация вируса в опухоли происходит преимущественно в опухолевых клетках, клетки опухолевой стромы (кровеносные сосуды, соединительная ткань) постоянно подвергаются воздействию вируса, в результате чего усиленно секретируют интер-

фероны и другие цитокины, которые привлекают в опухоль клеточные компоненты врождённой иммунной системы — НК-клетки, макрофаги, моноциты, а также компоненты адаптивной иммунной системы — антиген-презентирующие дендритные клетки и Т-лимфоциты. Гибель опухолевых клеток под прямым действием вирусов, а также НК-клеток приводит к высвобождению опухолевых неоантигенов и ряда внутриклеточных белков и метаболитов, служащих адъювантами для акцептирования и распознавания опухолевых антигенов антиген-презентирующими клетками. В результате формируется специфический Т-клеточный иммунный ответ на неоантигены опухоли, а цитотоксические Т-лимфоциты, способные распознавать опухолевые клетки, устремляются для их уничтожения в опухолевые очаги даже после того, как вирус прекращает своё действие за счёт нейтрализации противовирусными антителами [20]. Это противоопухолевое действие может поддерживаться в течение длительного времени.

Инфицирование опухолевых клеток вирусами также способствует снятию иммуносупрессивного воздействия опухолевого микроокружения, которое ограничивает способность иммунной системы оперативно уничтожать патологические клетки по мере их выявления. Многие детали этого процесса пока остаются плохо изученными, однако уже выяснено, что благодаря секреции цитокинов в инфицированном опухолевом микроокружении наблюдаются изменения характера инфильтрации компонентами иммунных клеток, в том числе существенно снижается инфильтрация супрессорными клетками миелоидного ряда [21]. Эти процессы носят несколько парадоксальный характер. Например, под действием интерферона опухолевые клетки могут повышать уровень экспрессии белка PD-L1, что сопровождается повышением инфильтрации опухоли CD8-положительными Т-клетками. На этом фоне применение антителных блокаторов иммунных контрольных точек — пембролизумаба (Keytruda) и ниволумаба (Opdivo) — сопровождается массивной активацией цитотоксической активности Т-лимфоцитов и уничтожением клеток опухоли. Этот механизм лежит в основе наблюдаемого синергизма действия совместного применения онколитических вирусов и ингибиторов иммунных контрольных точек, особенно в случаях PD-L1-негативных опухолей, характеризующихся низким уровнем инфильтрации Т-клетками [22, 23]. Таким образом, благодаря комплексному воздействию вирусной инфекции происходит восстановление естественных механизмов иммунного надзора и своевременного удаления дефектных и опухолевых клеток, что способствует преодолению

защитных приёмов опухолевых клеток, сдвигу баланса опухолевого процесса от накопления опухолевых клеток к их уничтожению.

Важным свойством онколитических вирусов является их способность уничтожать опухоль-инициирующие стволовые клетки, которые чрезвычайно устойчивы к терапевтическим воздействиям и служат основным источником рецидивов заболевания после проведения массивной химио-, радио- и таргетной терапии [5]. Данные указывают на способность онколитических вирусов, принадлежащих к различным вирусным семействам, эффективно убивать опухолевые стволовые клетки [24]. Это наглядно проявляется в случаях терапии мультиформной глиобластомы, рецидивы которой неизбежны за счёт способности глиобластомных стволовых клеток мигрировать вдоль аксонов на значительные расстояния от мест расположения первичной опухоли [25]. Единственным терапевтическим способом предотвращения таких рецидивов оказывается применение онколитических вирусов [15, 26].

Что мешает скорейшему внедрению онколитических вирусов в клиническую практику? В наши дни во многих лабораториях мира активно ведётся изучение вирусного онколиза, создаются новые штаммы онколитических вирусов на основе нескольких вирусных семейств. Для создания безопасных и эффективных штаммов в вирусный геном вводятся модификации, подавляющие способность вирусов преодолевать системы противовирусной защиты клетки и активировать её метаболизм для обеспечения репликации вирусов. Такие штаммы обладают повышенной онкоселективностью, поскольку опухолевые клетки, как правило, лишены противовирусной защиты, а их метаболизм повышен для обеспечения постоянных делений. Во многие штаммы онколитических вирусов вводят дополнительные гены, усиливающие противоопухолевое действие, например, ряд цитокинов для стимулирования противоопухолевого иммунитета, ферменты, способствующие лучшему распространению вирусов внутри опухоли, белки с онкотоксическими свойствами, микроРНК, влияющие на физиологию опухолевой клетки. Кроме генетически модифицированных вирусов, испытываются и вирусы животных, безопасные для человека, но обладающие онколитической активностью против человеческих опухолевых клеток, а также ряд вакцинных вирусных штаммов, слабо- или малопатогенных вирусов человека. Однако в связи со сложностями и дороговизной доклинических и клинических испытаний биотехнологические компании, которые занимаются продвижением вирусной терапии рака, как правило, сосредотачиваются на одном терапевтическом штамме.

В настоящее время только три вирусных штамма получили разрешения на применение в клинике. Это рекомбинантный аденовирус H101 Oncorine, полученный в Китае, природно-непатогенный энтеровирус человека Rignir — в Латвии, и рекомбинантный вирус герпеса T-Vec (Imlygic или Talimogene Laherprevec) — в США. Последний был разрешён к применению в 2015 г. для терапии метастатических форм злокачественных меланом. Несколько вирусных штаммов находятся на заключительных стадиях клинических испытаний: рекомбинантный вирус осповакцины Pexa-Vec, немодифицированный реовирус Reolysin, рекомбинантный полиовирус PVSRIPO, немодифицированный вирус Коксаки A21 CAVATAK и ряд других [27]. Каждый из этих вирусов может демонстрировать впечатляющие примеры терапевтического действия. Например, рекомбинантный полиовирус эффективен для 20% пациентов, он вызывает длительные ремиссии, которые не дают рецидивов, по крайней мере, в течение года [16]. С одной стороны, это выдающееся достижение, так как глиобластома — абсолютно смертельное заболевание. С другой стороны, 80% пациентов вообще не реагируют на терапию этим вирусным штаммом, и подобная картина характерна практически для всех известных онколитических вирусов. Но это не означает, что для пациентов, не реагирующих на единичный штамм, вирусная терапия лишена перспектив, поскольку для них может оказаться эффективным другой вирусный препарат.

Основная причина отсутствия реакции на вирусный препарат заключается в том, что индивидуальная чувствительность опухолевых клеток к отдельным вирусным штаммам может значительно различаться. Поэтому для повышения эффективности терапии требуется разработка технологий тестирования чувствительности опухолевых клеток пациента к панели нескольких штаммов онколитических вирусов. Это возможно либо путём прямого определения способности вирусов заражать клетки опухоли, полученные в результате удаления опухоли или биопсии, или путём поиска и анализа предсказательных биомаркеров. Установление таких биомаркеров позволит по сравнительно простому и быстрому тесту подбирать подходящий персонализированный набор терапевтических штаммов.

Применение единичного вирусного штамма имеет и другой недостаток. В ответ на вирусную инфекцию в организме больного развивается противовирусный иммунитет, который постепенно нейтрализует вирус и приводит к ослаблению его терапевтического действия. Хотя вирус способен запускать процесс иммунного узнавания и уничтожения опухолевых клеток, при значительных

опухолевых нагрузках только иммунный компонент может оказаться недостаточным. Для предотвращения рецидива предпочтительным было бы использование иммунологически неродственных штаммов онколитических вирусов в виде серии курсов.

Другим серьёзным препятствием на пути успешной вирусной терапии оказывается недостаточная эффективность доставки онколитического вируса в опухолевые очаги. Лишь незначительная доля опухолей доступна для прямой инъекции вируса, а в случае распространения опухолевого процесса требуется системное введение препарата. При внутривенном или внутримышечном введении вирус быстро инактивируется за счёт поглощения клетками эндотелия и связывания с неспецифическими и специфическими факторами защиты от патогенов. Для эффективной доставки в опухоль приходится проводить многократные инъекции избыточных доз вируса, причём и это не во всех случаях оказывается достаточным. Для преодоления проблемы был предложен подход, получивший название "Троянский конь" [28], когда системное введение вируса осуществляется посредством носителя — чувствительных к вирусу клеток, заранее инфицированных в пробирке. Поступая в кровоток, они мигрируют в опухоль, где происходит высвобождение вируса. Сейчас в качестве переносчиков онколитических вирусов испытывается ряд типов клеток, но особенно привлекательно использование собственных иммунных клеток пациента. В нашей лаборатории было установлено, что дендритные клетки способны инфицироваться и ограниченно реплицировать разнообразные штаммы онколитических вирусов. При внутривенном введении таких клеток мышам попадание вирусов в опухоль значительно более эффективно по сравнению с введением высоких доз вирусного препарата. Это делает дендритные клетки перспективным универсальным вектором для доставки вирусов в опухоль.

Панельный подход к вирусной терапии злокачественных заболеваний. Для преодоления проблемы индивидуальной невосприимчивости опухолей к вирусной терапии нами предложен панельный подход, при котором терапевтический арсенал состоит из нескольких штаммов онколитических вирусов с различающейся специфичностью в отношении опухолевых клеток. Сформированная нами панель состоит преимущественно из представителей непатогенных энтеровирусов человека, выделенных из кишечника здоровых детей и прошедших в 1970-е годы испытания в качестве живых энтеровирусных вакцин [29]. Кроме этого, в панель входят вакцинные штаммы полиовируса I—III типов, непатогенные для человека парамиксовирусы животных — ви-

рус Сендай и вирус болезни Ньюкастла (птичий вирус, аттенуированный и используемый в сельском хозяйстве для вакцинации промышленных птиц), три штамма непатогенных ортореовирусов. Представители панели обладают различающимся тропизмом в отношении индивидуальных опухолей человека, поскольку используют различные рецепторы для проникновения в клетку, а также специфическими элементами вирусного генома, отвечающими за круг воздействия на различные типы клеток. Штаммы панели лишены патогенности, но сохраняют способность к поражению опухолевых клеток и стимуляции естественных противоопухолевых механизмов.

Подобрать подходящий для пациента набор штаммов можно в ходе прямого испытания способности каждого из вирусов панели инфицировать клетки опухоли в культуре. Такой тест возможен в случае забора из опухоли жизнеспособных клеток путём биопсии или при хирургической операции. Обработанные ферментами клетки опухоли помещаются в питательную среду, инфицируются вирусами, после чего отмечается цитопатическое действие вируса и титры новообразованных вирусных частиц. Из штаммов, способных размножаться на клетках опухоли, формируется персонифицированная панель, которая далее используется для терапии путём последовательного введения с интервалом в 1–3 недели. В случае, если опухолевые клетки больного недоступны для анализа, лечение тоже возможно путём последовательного введения препаратов онколитических вирусов из имеющегося арсенала штаммов, с расчётом, что какие-то из препаратов окажутся эффективными.

Исследования нашей лаборатории направлены и на разработку быстрых и доступных для большинства пациентов тестов, предсказывающих чувствительность их опухолей к тому или иному терапевтическому вирусному штамму. Для этого требуется выявление биомаркеров, уровень экспрессии которых в клетках опухоли может коррелировать со способностью поддерживать репликацию тех или иных вирусных штаммов. Нами проводится поиск таких биомаркеров путём анализа данных секвенирования транскриптома и протеома опухолевых клеток и последующим установлением корреляций с чувствительностью вирусов к разным вирусным штаммам. На данном этапе исследований такие тесты выявляют зависимость способности клеток поддерживать репликацию вирусов от уровней экспрессии генов сигнальных путей интерфероновой реакции [30]. Однако среди кандидатов в предсказательные биомаркеры имеется ряд продуктов генов, отвечающих за процессы, необходимые для проникновения

вирусов в клетку, их "раздевание" и взаимодействие с биосинтетическим и энергетическими процессами клетки [31].

* * *

Терапия онкологических заболеваний с помощью онколитических вирусов принципиально отличается от существующих лечебных практик. В основе большинства лекарственных средств лежит использование малых доз токсических веществ (ядов), устраняющих нарушения баланса процессов. Такие препараты могут быть эффективными в отношении статических, не подверженных изменениям мишеней. В онкологии опухолевые клетки постоянно эволюционируют, а токсическое воздействие приводит к отбору клеток, лишённых терапевтических мишеней. Поэтому продолжительность лечебного воздействия существующих и, скорее всего, будущих таргетных препаратов, направленных на прямое уничтожение опухолевых клеток, оказывается недолгой. Вирусная же терапия состоит из двух компонентов. С одной стороны, вирусы также оказывают прямое токсическое воздействие на клетки и используют для этого специфические мишени. Так же, как и к обычным терапевтическим средствам, к действию вируса возможно формирование устойчивости. С другой стороны, вирусы запускают и комплексный процесс иммунных взаимодействий, в результате чего опухолевые клетки лишаются возможности ускользать от уничтожения за счёт природных механизмов противоопухолевой защиты. Благодаря комплексному воздействию вирусы можно рассматривать как средства, воздействующие не на частное проявление болезни, а на её причину, которая кроется в ослаблении естественных механизмов противоопухолевой защиты.

Несмотря на перспективность вирусной терапии, предстоит решить ещё немало задач, чтобы довести этот подход до возможности предсказуемо излечивать злокачественные заболевания. Особенно интересно комбинирование вирусной терапии и современной иммунотерапии с помощью ингибиторов иммунных контрольных точек. Предложенный нами панельный подход с использованием широкого арсенала штаммов онколитических вирусов, способного в совокупности воздействовать на большую часть опухолевых клеток, позволяет надеяться на то, что в скором времени эффективность вирусной терапии существенно повысится. Однако остаётся ещё много вопросов, требующих изучения, для того чтобы повысить эффективность вирусной доставки, персонализированно предсказывать действие отдельных вирусных штаммов, увеличивать их

терапевтическую активность, придавая вирусному геному дополнительные функции. Для ответа на вопросы необходима активизация фундаментальных исследований механизмов вирусного онколиза и возможностей его контроля. Направления такого поиска должны следовать приоритетам, продиктованным потребностью быстрого практического воплощения создаваемых технологий. Большое значение имеет и возможность существенной перестройки практик контроля над созданием новых вирусных препаратов, правил проведения клинических испытаний, устранения излишних барьеров для быстрого внедрения новых технологий в медицинскую практику. Реализация этих направлений может способствовать прорыву в области терапии рака уже в ближайшие десятилетия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Taylor P.* Global Cancer Therapeutics Market: Emphasis on Recurrent and Metastatic Divisions / BCC Research. Report Code: 2017. PHM177A.
2. *Ezer U.* Cancer Immunology and Oncolytic Virology: Technologies and Global Markets / BCC Report. 2017. PHM129B.
3. *Lane D.P.* p53, guardian of the genome // *Nature*. 1992. V. 358. P. 15–16.
4. *Желтухин А.О., Чумаков П.М.* Повседневные и индуцируемые функции гена p53 // *Успехи биологической химии*. 2010. Т. 50. С. 447–516.
5. *Dawood S., Austin L., Cristofanilli M.* Cancer Stem Cells: Implications for Cancer Therapy // *Oncology* (Williston Park, N. Y.). 2014. V. 28. P. 1101–1110.
6. *Hui L., Chen Y.* Tumor microenvironment: Sanctuary of the devil // *Cancer Lett.* 2015. V. 368. P. 7–13.
7. *Spranger S., Gajewski T.F.* Impact of oncogenic pathways on evasion of antitumor immune responses // *Nat. Rev. Cancer*. 2018. V. 18. P. 139–147.
8. *Romano G., Gawlinski A.* New frontiers in oncology: Immune checkpoint inhibitors in combination therapy // *Drugs of today* (Barcelona, Spain: 1998). 2017. V. 53. P. 103–115.
9. *Yoon D.H., Osborn M.J., Tolar J., Kim C.J.* Incorporation of Immune Checkpoint Blockade into Chimeric Antigen Receptor T Cells (CAR-Ts): Combination or Built-In CAR-T // *Int. J. Mol. Sci.* 2018. V. 19. P. 340–356.
10. *Dock G.* The influence of complicating diseases upon leukemia // *Am. J. Med. Sci.* 1904. V. 127. P. 563–592.
11. *Kelly E., Russell S.J.* History of oncolytic viruses: genesis to genetic engineering // *Molecular Therapy: The Journal of the American Society of Gene Therapy*. 2007. V. 15. P. 651–659.
12. *Чумаков П.М., Морозова В.В., Бабкин И.В. и др.* Онколитические энтеровирусы // *Молекулярная биология*. 2012. Т. 46. С. 712–725.
13. *Lemay C.G., Keller B.A., Edge R.E. et al.* Oncolytic Viruses: The Best is Yet to Come // *Curr Cancer Drug Targets*. 2018. V. 18. P. 109–123.
14. *Lawler S.E., Speranza M.C., Cho C.F., Chiocca E.A.* Oncolytic Viruses in Cancer Treatment: A Review // *JAMA oncology*. 2017. V. 3. P. 841–849.
15. *Csatary L.K., Bakacs T.* Use of Newcastle disease virus vaccine (MTH-68/H) in a patient with high-grade glioblastoma // *JAMA*. 1999. V. 281. P. 588–589.
16. *Desjardins A., Gromeier M., Herndon J.E. et al.* Recurrent Glioblastoma Treated with Recombinant Poliovirus // *N. Engl. J. Med.* 2018. V. 379. P. 150–161.
17. *Matveeva O.V., Guo Z.-S., Shabalina S.V., Chumakov P.M.* Oncolysis by paramyxoviruses: multiple mechanisms contribute to therapeutic efficacy // *Molecular Therapy – oncolytics*. 2015. V. 2. P. 15011–15024.
18. *Dvorak H.F.* Leaky tumor vessels: consequences for tumor stroma generation and for solid tumor therapy // *Prog. Clin. Biol. Res.* 1990. V. 354a. P. 317–330.
19. *Pikor L.A., Bell J.C., Diallo J.-S.* Oncolytic viruses: exploiting cancer's deal with the Devil // *Trends in Cancer*. 2015. V. 1. P. 266–277.
20. *Breitbach C.J., Lichty B.D., Bell J.C.* Oncolytic Viruses: Therapeutics With an Identity Crisis // *EBioMedicine*. 2016. V. 9. P. 31–36.
21. *Katayama Y., Tachibana M., Kurisu N. et al.* Oncolytic Reovirus Inhibits Immunosuppressive Activity of Myeloid-Derived Suppressor Cells in a TLR3-Dependent Manner // *J. Immunol.* 2018. V. 200. P. 2987–2999.
22. *Samson A., Scott K.J., Taggart D. et al.* Intravenous delivery of oncolytic reovirus to brain tumor patients immunologically primes for subsequent checkpoint blockade // *Sci. Transl. Med.* 2018. V. 10. Iss. 422. eaam7571. P. 1–12.
23. *Bourgeois-Daigneault M.C., Roy D.G., Aitken A.S. et al.* Neoadjuvant oncolytic virotherapy before surgery sensitizes triple-negative breast cancer to immune checkpoint therapy // *Sci. Transl. Med.* 2018. V. 10. Iss. 422. eaao1641. P. 1–11.
24. *Warner S.G., Haddad D., Au J. et al.* Oncolytic herpes simplex virus kills stem-like tumor-initiating colon cancer cells // *Molecular Therapy Oncolitics*. 2016. V. 3. P. 16013.
25. *Demuth T., Berens M.E.* Molecular mechanisms of glioma cell migration and invasion // *J. Neurooncol.* 2004. V. 70. P. 217–228.
26. *Zhu Z., Gorman M.J., McKenzie L.D. et al.* Zika virus has oncolytic activity against glioblastoma stem cells // *J. Exp. Med.* 2017. V. 214. P. 2843–2857.
27. *Twumasi-Boateng K., Pettigrew J.L., Kwok Y.Y.E. et al.* Oncolytic viruses as engineering platforms for combination immunotherapy // *Nat. Rev. Cancer*. 2018. V. 18. P. 419–432.
28. *Collet G., Grillon C., Nadim M., Kieda C.* Trojan horse at cellular level for tumor gene therapies // *Gene*. 2013. V. 525. P. 208–216.
29. *Ворошилова М.К.* Вирусологические и иммунологические аспекты применения ЖЭВ при онко-

- гических заболеваниях // Полезные для организма непатогенные штаммы энтеровирусов: профилактическое и лечебное их применение. М.: Изд-во Минздрава СССР, 1988. С. 24–29.
30. *Tarasova I.A., Chumakov P.M., Moshkovskii S.A., Gorshkov M.V.* Profiling modifications for glioblastoma proteome using ultra-tolerant database search: Are the peptide mass shifts biologically relevant or chemically induced? // *Journal of proteomics*. 2018. V. 191. P. 16–21.
31. *Лунатова А.В., Ле Т.Х., Сосновцева А.О. и др.* Влияние рецепторов клетки на чувствительность опухолевых клеток к энтеровирусам // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*, 2018. № 166. С. 58–62.

COULD ONCOLYTIC VIRUSES PROVIDE A BREAKTHROUGH IN ONCOLOGY?

© 2019 P.M. Chumakov

*V.A. Engelhardt Institute of Molecular Biology, RAS, Moscow, Russia;
M.P. Chumakov Federal Scientific Center for Research and Development
of Immune and Biological Products, RAS, Moscow, Russia
E-mail: chumakovpm@yahoo.com*

Received: 03.12.2018

Revised version received: 03.02.2019

Accepted: 14.02.2019

Despite the long-term and intensive studies of the nature of cancer and the development of numerous anti-cancer drugs, the incidence of cancer is growing, and the five-year survival of cancer patients diagnosed at the advanced stages of the disease remains unacceptably low. The author examines the causes of the failures in cancer therapy, which are rooted in the very nature of malignant cells, as these cells can adapt and acquire resistance to almost any systemic therapy. In this regard, considerable hopes are associated with oncolytic viruses, which represent a distinct type of remedies capable of complex influences on the disease. In addition to their ability to directly kill cancer cells, oncolytic viruses can stimulate the natural processes of immune surveillance and elimination of cancer cells. Furthermore, oncolytic viruses can kill tumor-initiating cancer stem cells, that are highly resistant to chemo- and radiotherapy, and overcome the immune suppression of the tumor micro-environment. These features make oncolytic viruses unique anti-cancer agents that fight cancer cells by multiple natural mechanisms. To implement virus-mediated cancer therapy into broad medical practice the following are required: intensified studies on viral oncolysis are required and which would include a development of new advanced therapeutic viral strains; development of tests for predicting which virus strains from therapeutic panels are suitable for the patient; and, improvement of technologies for local and systemic delivery of oncolytic viruses to the tumor and metastases. Major changes would be also required in the practices of testing therapeutic drugs that accelerate the introduction of new viral strains into medical practice. Achievements in this direction help to overcome many old problems in the therapy of metastatic forms of malignant diseases.

Keywords: oncolytic viruses, cancer therapy, immune therapy, inhibitors of immune checkpoints, cancer progression, therapy resistance, cancer stem cells, tumor relapses, personalized medicine.

ОБЩАЯ ДИСКУССИЯ ПО ПРИОРИТЕТУ

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: И.И. Дедов, Г.Т. Сухих, Е.Л. Чойнзонов, Ю.В. Гуляев.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895485-486>

АКАДЕМИК РАН И.И. ДЕДОВ

Семь научно-технологических приоритетов, о которых идёт речь в интереснейших докладах этой Научной сессии, объединяют самые разные направления биологии, физики, математики, медицинских и других наук. Но мне хочется обратить ваше внимание на персонализированную медицину, именно за ней будущее. Очень важно предсказать риски заболевания и максимально нивелировать их. Именно поэтому учёные всего мира обращают столь пристальное внимание на изучение генома человека с применением новейших методов, в том числе секвенирования. Думаю, что создание в России научных центров, где осуществляется полногеномное секвенирование, поможет ответить на многие вопросы, касающиеся аутоиммунных атак, неопластических процессов.

Современная медицина обращает главное внимание, к сожалению, только на болезнь, а не на больного. Что представляет собой лечебный протокол? Это стандарт, выработанный на основе международного консенсуса медицинских специалистов, он касается способов лечения различных заболеваний. Это своего рода колея, не выходя за границы которой и начинающий врач, и университетский профессор избегают грубых ошибок. Работы в области искусственного интеллекта, цифровизации способствуют совершенствованию протоколов. Благодаря обращению к информации, накопленной в банках данных, врач, даже работающий вдали от столичных медицинских центров, сможет точнее поставить правильный диагноз и выбрать эффективные способы лечения. Но использование только стандартных протоколов далеко не всегда эффективно. В этом убеждает международный опыт. Например, американская страховая компания AIG ежегодно фиксирует в США более 2,5 млн лекарственных осложнений, а более 200 тыс. пациентов умирают, несмотря на применение всех стандартных процедур и рекомендованных лекарств.

Лучшие достижения медицины всегда базировались на фундаментальных исследованиях, поэтому нам надо обратить самое пристальное

внимание на подготовку специалистов в области биоинформатики, генетики, эмбриологии, их очень не хватает.

Говоря о развитии современных лечебных технологий, мы не должны забывать человека. В этой связи хочу процитировать текст, написанный почти век назад: "Я верю, придёт день, когда мы, заболев и не ведая причины недуга, доверимся физикам, которые, ни о чём у нас не спрашивая, возьмут кровь, выведут на основании её анализа несколько величин, после чего, заглянув в таблицу логарифмов, исцелят нас какой-нибудь пилюлей. И всё-таки в случае, если я заболею, я, пожалуй, пойду к старому сельскому врачу, который взглянет на меня искоса, пощупает мой живот, выслушает мои лёгкие, потом немного покашляет, раскурит свою трубочку, почешет бороду, и чтобы вернее меня исцелить, улыбнётся мне". Эти слова принадлежат Антуану де Сент-Экзюпери.

Какие бы суперсовременные медицинские технологии ни были сегодня созданы, в лечении важнее всего Слово врача.

АКАДЕМИК РАН Г.Т. СУХИХ

Хочу поблагодарить Академию наук и её президиум за организацию этой Научной сессии. Из прозвучавших докладов видно, каким большим интеллектуальным потенциалом обладает наше научное сообщество, сколько научных проектов ждёт внедрения. При этом должен констатировать, что большая часть медицинской аппаратуры, которую мы сегодня используем, не российского производства. Поэтому с особым интересом я слушал доклад генерального директора компании "Биокад" Д.В. Морозова, сотрудникам которой в сложнейшие для отечественной фарминдустрии годы удалось наладить не только разработку, но и производство лекарственных препаратов мирового уровня.

При разработке новых лекарственных препаратов нельзя делать ставку только на один подход или метод, потому что организм человека — это многоклеточная, сложная и непредсказуемая система. Вот почему так важно объединение усилий

специалистов разного профиля — физиков, биологов, математиков. Именно благодаря совместным исследованиям возможно открытие новых горизонтов в познании живых систем, управлении ими, а значит, и в методах диагностики заболеваний.

В этом зале присутствуют блестящие представители отечественной медицинской науки. В их числе одна из основателей новой клинической дисциплины, перинатологии, академик Галина Михайловна Савельева, супруга несколько лет назад ушедшего от нас выдающегося хирурга Героя Социалистического Труда Виктора Сергеевича Савельева. В марте 2018 г. Галине Михайловне присвоено звание Героя Труда России. Такими замечательными учёными Академия наук может гордиться!

АКАДЕМИК РАН Е.Л. ЧОЙНЗОНОВ

Цель, поставленная Президентом РФ, — увеличить продолжительность жизни в нашей стране до 80 лет — определяет необходимость решения медицинской наукой сложнейших задач, в частности в онкологии.

В мире ежегодно регистрируется около 14 млн случаев онкологических заболеваний, а через 20 лет число таких больных будет достигать 21 млн, причём уже сегодня от злокачественных новообразований погибают, не прожив и года после постановки диагноза, 8 млн человек. Наша Научная сессия как раз и направлена на то, чтобы общими усилиями с использованием мультидисциплинарных подходов прийти к пониманию механизмов, запускающих в организме больного процесс образования опухоли, и на основе этого нового знания улучшить показатели выживаемости онкологических больных.

Почему же мы до сих пор нередко терпим неудачи, применяя хирургические методы, лучевую терапию, таргетные препараты и онколитические вирусы? Проблема в гетерогенности, разноликости опухолей. Если мы научимся воздействовать на разные группы опухолевых клеток, тогда результаты лечения больных со злокачественными новообразованиями будут значительно выше.

Мы ищем подходы к персонализированной медицине, но пока это только первые шаги, по-

этому так важно объединение усилий Российской академии наук и Министерства здравоохранения РФ в поиске общих подходов. К сожалению, многие разработки академических институтов долгие годы лежат на полках и не внедряются в практику здравоохранения, хотя в основном это передовые технологии, лучшие методики. Обращаясь к присутствующему на Научной сессии заместителю министра здравоохранения РФ С.А. Краевому: необходимо создать при Минздраве России межведомственный совет, который объединит усилия многих наших институтов, ведущих фундаментальные и прикладные медицинские исследования. Надеюсь, тогда результаты лечения будут выше, здоровье нации улучшится и долгожительство пациентов не будет редким явлением в нашей с вами практике.

АКАДЕМИК РАН Ю.В. ГУЛЯЕВ

На предшествующем Общем собрании членов РАН президент РАН А.М. Сергеев говорил о созданном нами маммографе, основанном на электрорезонансном принципе, то есть на трёхмерном измерении электрического резонанса и сопротивления от ткани груди. По сравнению с рентгеноскопией такая диагностика не только абсолютно безвредна и безопасна, но и способна помочь обнаружить заболевание на более ранних стадиях. Изображение, получаемое с помощью нашего прибора, более чёткое, чем при ультразвуковом исследовании.

Маммограф прошёл все стадии клинических испытаний. При участии Ярославского государственного медицинского университета мы организовали его мелкосерийное производство на Ярославском радиозаводе. Более тысячи этих приборов успешно используются в клиниках нашей страны, а также за рубежом. Много положительных отзывов врачей, в том числе главного маммолога России доктора медицинских наук Н.И. Рожковой.

Мне представляется, что настало время полномасштабного внедрения этого прибора. Надо просить включить его производство в Национальный проект "Наука".

GENERAL DISCUSSION ON PRIORITIES

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: I.I. Dedov, G.T. Sukhikh, E.L. Choyazonov, Yu.V. Gulyaev.

НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

ПРИОРИТЕТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ "СВЯЗАННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЗА СЧЁТ 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 М.А. ПОГОСЯН

**ВЫСТУПЛЕНИЕ МИНИСТРА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РФ
Д.Н. КОБЫЛКИНА**

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, освоение арктических территорий, Северный морской путь, изучение Мирового океана.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895487-488>

Позвольте от Министерства природных ресурсов и экологии РФ выразить слова благодарности за совместную эффективную деятельность государственной значимости. Мы по праву гордимся нашим союзом с Российской академией наук. Великие дела реализуются в сотрудничестве с учёными-полярниками, геологами, синоптиками, океанологами, экологами и многими другими представителями российской науки.

Сегодня, как никогда, нам нужна ваша поддержка. Министерство природных ресурсов и экологии РФ выстраивает системную работу по развитию Арктической зоны России, изучению Мирового океана. Особую роль Арктики для нашей страны глава государства подчеркнул в майском указе. Нашей общей целью является превращение Северного морского пути в альтернативу для судоходства между Европой и Азией, повышение к 2024 г. грузопотока до 80 млн т ежегодно.

Внешнеэкономические санкции последнего времени ориентируют нас на поиск внутренних прорывных решений, и их базу, безусловно, составляет российская наука. Сегодня все понимают, что устойчивое 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. Чтобы обеспечить загрузку Северного морского пути, нужно развивать минерально-сырьевую базу региона. Вододоступность запасов требует совершенствования российской геологии, внедрения инновационных методов изучения недр, их цифровизации, разработки российского программного обеспечения. Важно идти по пути снижения зависимости предприятий топливно-энергетического комплекса от зарубежных программных продуктов.

В рамках изучения Мирового океана остро стоит вопрос разработки прикладных технологий разведки и добычи полезных ископаемых. Нужно объединить усилия науки и промышленности с целью внедрения подводной робототехники. Деятельность по освоению месторождений в глубоководных районах следует увязать с комплексными исследованиями стратегического значения, чтобы обеспечить укрепление обороны и безопасности территории, транспортное и энергетическое строительство на севере нашей страны.

Указанные задачи невозможно решить без взаимодействия с учёными, без моделирования будущего. Вне научного сопровождения всё это может оказаться невыполнимым.

Я всегда был уверен в том, что наука опережает технологический прогресс. Хочу ещё раз подтвердить, что Министерство природных ресурсов и экологии РФ открыто для сотрудничества в рамках общего дела на важнейших для нашей страны арктических рубежах.

**SPEECH OF THE MINISTER OF NATURAL RESOURCES AND ECOLOGY
OF THE RUSSIAN FEDERATION D.N. KOBYLKIN**

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, development of the Arctic territories, the Northern Sea Route, study of the World Ocean.

СВЯЗАННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: ОТ ПОСТАНОВКИ КОМПЛЕКСНЫХ ЗАДАЧ К ФОРМИРОВАНИЮ КОМПЛЕКСНЫХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЕКТОВ

© 2019 г. М.А. Погосян*, Д.Ю. Стрелец**, В.Г. Владимирова***

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

E-mail: mai@mai.ru; **E-mail: dimstrelets@rambler.ru; *E-mail: uisk@mai.ru*

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 16.01.2019 г.

Принята к публикации 18.02.2019 г.

Основным инструментом реализации Стратегии научно-технологического развития РФ должны стать комплексные научно-технические программы и проекты полного инновационного цикла, отбор и формирование которых поручены советам по приоритетам научно-технологического развития. Авторами представлен подход к формированию таких программ и проектов, разработанный Советом по приоритету научно-технологического развития "Связанность территории РФ". Дано определение понятия "связанность территории", выделены её основные типы и подтипы, характеризующиеся наличием специфических социальных, экономических и административно-управленческих задач. Предлагаемая последовательность шагов представляет собой целенаправленное движение от определения основных направлений реализации программы к выявлению в рамках каждого направления актуальных комплексных социально-экономических задач, а затем — к разработке обеспечивающих их решение планов научных исследований, научно-технических проектов и системных мер государственной политики. В формировании программы применён "гейтовый подход", позволяющий на каждом этапе её разработки и реализации вносить в неё необходимые коррективы, организовывать эффективную коммуникацию с потенциальными заказчиками и участниками.

Ключевые слова: связанность территории, пространственное развитие, комплексные научно-технические программы и проекты, интеллектуальные транспортно-логистические системы, прогнозирование и моделирование, транспортная и универсальная инфраструктура, "умный город", "умная территория".

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895489-495>

Приоритет научно-технологического развития Российской Федерации "Связанность территории Российской Федерации" должен стать ответом на "Большой вызов", который в Стратегии научно-технологического развития РФ (далее — СНТР) определён следующим образом: "Необходимость эффективного освоения и использования пространства, в том числе путём преодоления диспропорций в социально-экономическом развитии территории страны, а также укрепление позиций России в области экономического, научного и военного освоения космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики" [1].

ПОГОСЯН Михаил Асланович — академик РАН, ректор МАИ (НИУ). СТРЕЛЕЦ Дмитрий Юрьевич — кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского отдела МАИ (НИУ). ВЛАДИМИРОВА Витта Георгиевна — заместитель начальника Управления инноваций, стратегии и коммуникаций МАИ (НИУ).

Масштаб России сам по себе является большим вызовом: территория страны, располагающейся в арктическом, субарктическом, умеренном и частично в субтропическом климатических поясах, составляет 17,1 млн км². Имея в виду возрастающую роль морских акваторий в экономической деятельности, в оценках связанности следует также учитывать общую площадь находящейся под юрисдикцией России акватории — 8,6 млн км², что сопоставимо с площадью Европы (10,2 млн км²), при этом 3,9 млн км² приходится на шельф, а 4,7 млн км² — на глубоководные части морей и океанов.

Не меньшим по значимости вызовом оказываются существенные отличия в развитии регионов страны: плотность населения, по данным Росстата, в минимально и максимально населённых субъектах Российской Федерации отличается в 2356 раз [2].

В качестве труднопреодолимых барьеров для обеспечения связанности территории России, её устойчивого пространственного развития могут быть выделены следующие.

1. Центростремительный вектор пространственного развития России: значительное сжатие ранее освоенного пространства при одновременном уплотнении пространства городов — центров федерального, регионального и муниципального уровней. Со всей остротой стоит вопрос, как предотвратить превращение обширных старопромышленных и аграрных территорий в зоны устойчивой экономической депрессии.

2. Высокий уровень межрегиональной дифференциации: качество жизни населения, уровень экономической активности на городских территориях европейской части страны многократно выше, чем на сельских, в Сибири и на Дальнем Востоке.

3. Задачи охраны протяжённых внешних границ и содержания приграничных территорий в сложных геополитических условиях.

4. Коммуникационный (сетевой) разрыв в пространственном развитии страны: для многих зон российской периферии характерны ограниченная транспортная и электронная доступность: даже вблизи федеральных центров высокоскоростные магистрали всё ещё остаются редкостью, равно как и устойчивая и гарантированная высокоскоростная широкополосная связь.

Необходимо отметить, что действующее законодательство о научной, научно-технической и инновационной деятельности содержит два подхода к определению приоритетных направлений научно-технологического развития страны. Первый из них нашёл своё отражение в указе Президента РФ от 07.07.2011 г. № 899 "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации" и представляет собой перечень наиболее актуальных предметно-тематических областей научных изысканий [3]. Второй подход представлен в Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой указом Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642, и может быть охарактеризован как инструментальный, поскольку приоритеты научно-технологического развития в нём выступают инструментом ответа на "большие вызовы". При этом основным инструментом реализации приоритетов НТР, согласно п. 45 Стратегии НТР, служат комплексные научно-технические программы и проекты, включающие в себя все этапы инновационного цикла — от получения новых фундаментальных знаний до их практического использования, создания технологий, продуктов и услуг и их выхода на рынок. Таким образом, должна выстраиваться цепочка: "большой вызов" — приоритет НТР — комплексные научно-технические программы и проекты.

Соотносимым с приоритетом НТР "Связанность территории РФ" направлением развития науки и технологий являются транспортные и космические системы, а соответствующими критическими технологиями те, которые необходимы для создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта и ракетно-космической техники нового поколения. В СНТР проблема обеспечения связанности территории страны поставлена значительно шире, чем только развитие транспортных и космических систем. Для решения образующих "большой вызов" социально-экономических проблем необходима экономически обоснованная стратегия пространственного развития страны, оптимизация системы расселения и размещения производительных сил. Эффективная реализация приоритета НТР "Связанность территории РФ" возможна только при комплексном, межведомственном и междисциплинарном подходе к постановке научно-технических задач, решение которых может стать инструментом социально-экономического развития страны. Формированию комплексных научно-технических программ и проектов полного инновационного цикла по данному приоритету должно предшествовать определение необходимых для этого понятийных и методологических оснований.

Сегодня государственное планирование в сфере обеспечения связанности территории носит преимущественно отраслевой характер. Так, в государственной программе "Развитие транспортной системы" речь идёт о строительстве объектов транспортной инфраструктуры — автомобильных и железных дорог, морских портов и аэропортов, крупных инженерных сооружений и т. п. Есть самостоятельные государственные программы развития авиастроения и судостроения, космической деятельности, отдельных регионов, например, Дальнего Востока и Северного Кавказа.

Определяя понятие "связанность территории", Совет по приоритету исходил из заданной в СНТР инструментальной логики и необходимости реализации комплексного междисциплинарного и межведомственного подхода к формированию научно-технических программ и проектов. Была предложена формулировка: связанность территории — это её качество, позволяющее осуществлять своевременное и экономически эффективное перемещение людей, грузов, информации. Она достигается за счёт достаточной плотности и пропускной способности путей сообщения, объектов транспортной и универсальной инфраструктуры, включая объекты обеспечения связи, навигации и передачи информации, наличия в личном, общественном и коммерческом пользовании достаточного количества транспортных

средств с экономически целесообразной стоимостью жизненного цикла.

В силу географических масштабов и неоднородности социально-экономического развития субъектов Российской Федерации необходимо выделить типы связанности территории с учётом специфических задач, вытекающих из существенных географических, природно-климатических, социально-демографических, хозяйственно-экономических особенностей, а также наличия у территории особого экономического и/или геостратегического статуса. Исходя из данных критериев представляется обоснованным выделение следующих типов связанности.

Глобальная связанность — международные транспортно-логистические коридоры "Север—Юг", "Запад—Восток" (включая Транссиб и Северный морской путь). Чтобы обеспечить связь столицы со всеми субъектами Российской Федерации, включая Дальний Восток, Сибирь, Арктическую зону, реализацию транзитного потенциала территории страны, эффективность внешнеэкономической деятельности российских производителей, необходимо обеспечить создание и развитие высокоскоростных, экономических и безопасных международных транспортных коридоров. Главная проблема для построения транспортно-логистических систем — расстояния, измеряемые тысячами километров, сложные климатические условия, а также малонаселённость территорий, по которым проходит большая часть таких маршрутов, низкая плотность хозяйственно-экономической деятельности, что влечёт за собой низкий внутренний спрос на пассажирские и грузовые перевозки на этих территориях.

Межрегиональная связанность имеет три подтипа:

- макрорегиональная: окраины—центр, окраины—окраины, эксклав (Калининград)—центр, эксклав—окраины;
- между соседними регионами со средней и низкой плотностью населения, низким уровнем хозяйственно-экономической деятельности;
- межагломерационная: между крупнейшими агломерациями (Московская, Санкт-Петербургская, Нижегородская, Казанская, Челябинская, Новосибирская и др.).

Основные проблемы межрегиональной связанности определяются преимущественно географическими (наличие естественных водных и рельефных преград), административными и нормативно-правовыми факторами. Ситуация осложняется сложившейся в советское время схемой административно-территориального деления. При выделении областей, республик и округов в 30-е годы XX в. в основу был положен принцип, учитывавший вывоз природных ресурсов по се-

верным рекам. Как следствие, субъекты Российской Федерации и в настоящее время продолжают оставаться сформированными вдоль бассейнов крупных рек, которые ранее выступали в роли главных транспортных артерий. Этот подход препятствовал в прошлом, препятствует и сегодня развитию наземного транспортного сообщения (автомобильные и железные дороги), что, в свою очередь, сдерживает миграционно-туристические потоки населения даже между рядом расположенными субъектами Федерации.

Для большинства российских регионов, включая города федерального значения, характерен приоритет развития транспортной инфраструктуры центра, что приводит к дисбалансу в инфраструктурной обеспеченности центральной и периферийной зон и, как следствие, фактическому отсутствию кратчайшего транспортного сообщения между перифериями соседних регионов. Основной пассажиропоток в настоящее время продолжает осуществляться через крупные транспортные узлы преимущественно Москвы и Санкт-Петербурга.

Внутрирегиональная связанность также имеет три подтипа:

- агломерации с высокой плотностью населения и концентрацией экономической активности;
- территории с низкой плотностью населения и низким уровнем экономической активности при дефиците или отсутствии традиционных путей сообщения (периферийные территории субъектов Российской Федерации в европейской части России, регионы Сибири и Дальнего Востока);
- малонаселённые территории с особым геостратегическим статусом, в том числе Арктическая зона Российской Федерации¹.

Главная проблема для крупных городских агломераций — низкая по отношению к транспортным потокам пропускная способность существующей инфраструктуры при, как правило, исчерпанных физических возможностях для строительства новых инфраструктурных объектов. Решению данной проблемы может способствовать создание интеллектуальных транспортных систем, которые рассматриваются в качестве необходимой составляющей "умного города".

Иной блок задач необходимо решать, чтобы обеспечить связанность территории с низкой плотностью населения и зачастую полным отсутствием традиционных путей сообщения. В этих регионах низка доступность образовательных услуг, медицинской помощи, объектов культуры, качественных продуктов питания.

¹ Подтипы внутрирегиональной связанности выделены исходя из значительных отличий в социально-экономическом развитии регионов.

Недостаточная связанность препятствует решению задач по закреплению населения на приграничных (геостратегических), сельских и иных значимых территориях, обеспечению туристической доступности культурно значимых мест. Чтобы у людей появилось желание на таких территориях жить и работать, заниматься бизнесом, качество жизни в них должно быть не хуже, чем в крупных городах. Привлекательной альтернативой мегаполисам могут стать "умные территории", в застройке, транспортном обеспечении, социокультурной сфере которых будут применяться наиболее передовые технологии.

Для обеспечения устойчивого пространственного развития Российской Федерации необходимо сбалансированное и синхронизированное развитие всех типов связанности территории. К таким выводам приходят и зарубежные исследователи, изучающие современные тенденции в формировании и реализации региональной политики [4].

Возвращаясь к формированию комплексной научно-технической программы, отметим, что после того, как были определены типы связанности территорий, следующим шагом Совета по приоритету стало определение направлений её реализации. Для этого формулировались наиболее важные проблемы, касающиеся потребностей человека, социальных групп, запросов хозяйствующих субъектов, развития экономики, а также реализации полномочий органов государственной власти и местного самоуправления. Анализ актуальности проблем проводился путём количественной и качественной оценки. Определялась доля населения и/или хозяйствующих субъектов, которых затрагивает данная проблема, масштаб её негативного влияния на хозяйственную дея-

тельность, качество жизни населения. Затем выявлялись субъекты, заинтересованные в решении проблемы и обладающие материальными ресурсами, что позволило рассматривать их в качестве потенциальных заказчиков научно-технических проектов в составе указанной программы. Это и российские хозяйствующие субъекты, и международные организации, и профильные федеральные органы исполнительной власти. Допустимо, что при наличии актуальной проблемы, но отсутствии заказчика может ставиться задача по его "формированию" — проведению соответствующей аналитической и разъяснительной работы, подготовке проектов нормативных актов.

На основе проведённого анализа Советом по приоритету определены следующие направления реализации Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла "Связанность территории" (далее — Программы):

- комплексное прогнозирование и моделирование;
- транспортная и универсальная инфраструктура (связь, информация, навигация);
- мультимодальные транспортно-логистические системы;
- "умный город": интеллектуальный транспорт для городских агломераций;
- "умная территория": многофункциональные модули для комплексного освоения территорий.

По каждому из перечисленных направлений в Совет по приоритету поступили предложения, инструментами реализации которых должны стать сформированные по единой логике комплексные планы научных исследований, научно-технические проекты, а также системные меры государственной политики. Алгоритм формирования Программы представлен на рисунке 1.

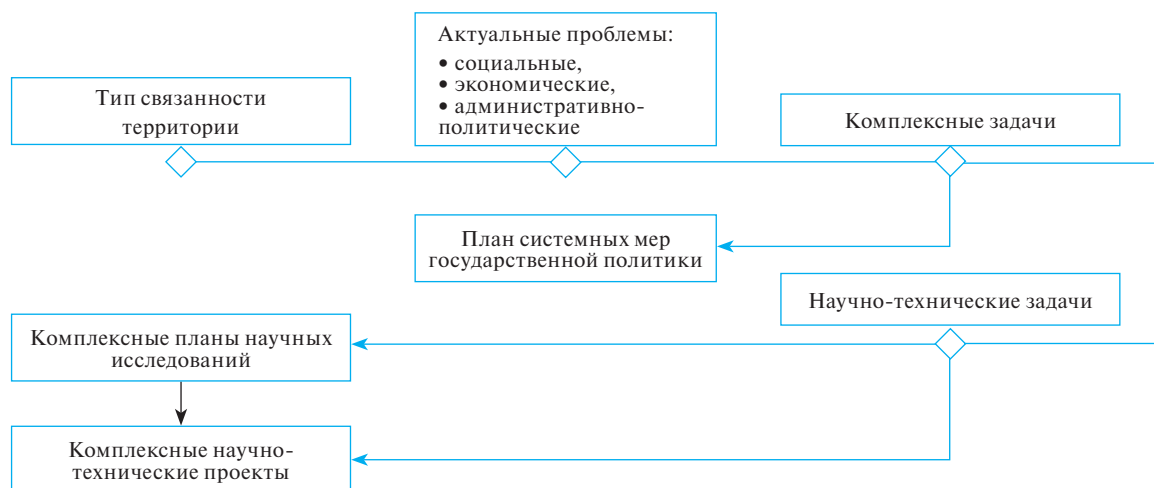


Рис. 1. Алгоритм формирования Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла "Связанность территории РФ"

По направлению "Комплексное прогнозирование и моделирование" Совет рассматривает решение следующих комплексных задач. В рамках первой из них предполагается создание комплексной системы прогнозирования транспортного спроса и предложения для развития связанности территорий на основе транспортно-экономического баланса. В результате ожидается сокращение издержек и устранение рисков неэффективного расходования средств при реализации планов развития магистральной и внутрирегиональной инфраструктуры, разгрузка транспортной сети, упрощение процедуры привлечения международных инвестиций. Вторая задача предусматривает разработку системы взаимосвязанных транспортных моделей, что позволит повысить эффективность расходования средств при освоении территорий, сократить логистические издержки во внешнеэкономической деятельности. Результаты решения данной задачи могут быть использованы также для экономического анализа и оценки проектов международных транспортных коридоров.

По направлению "Транспортная и универсальная инфраструктура (связь, информация, навигация)" Советом рассмотрены предложения по созданию информационной системы дистанционного мониторинга объектов и ресурсов на территории Российской Федерации для обеспечения информационной связанности страны. Ожидаемыми результатами использования такой системы должно стать предоставление органам государственной власти и местного самоуправления объективной картины, отражающей состояние территорий, для принятия управленческих решений, определения наиболее перспективных направлений развития отдельных регионов, бизнеса и форматов межрегионального и международного взаимодействия.

По направлению "Мультимодальные транспортно-логистические системы" в Совет поступили предложения к следующим комплексным задачам: «Создание интеллектуальной мультимодальной транспортно-логистической системы "Скоростные грузоперевозки"», "Развитие интермодальных перевозок", "Организация железнодорожного круизного сообщения", "Модернизация логистической системы Дальнего Востока на базе регулярного грузопассажирского паромного сообщения". Решение этих задач должно обеспечить ускорение доставки грузов, в том числе в стратегически значимые регионы ("северный завоз" и т. п.), оптимизацию транспортно-логистических издержек, разгрузку перегруженных транспортных магистралей и узлов, а также развитие транзитного и туристического потенциала страны.

По направлению «"Умный город": интеллектуальный транспорт для городских агломераций» предложена задача создания автоматизированной системы прогнозирования и удовлетворения спроса на пассажирские перевозки. Ожидаемым результатом станет снижение транспортных издержек, повышение скорости доставки пассажиров и грузов, повышение надёжности и устойчивости транспортной системы, снижение негативного воздействия на экосистему.

В рамках направления "Умная территория" предложено создание многофункциональных модулей для комплексного освоения территорий. Это позволит в течение короткого срока развернуть небольшой населённый пункт, вмещающий в зависимости от задач от 50 до 1000 человек, и обеспечить в нём весь контур жизнедеятельности. Структура и состав модулей могут быть адаптированы для разных отраслей с учётом специфики территории, например, для освоения минеральных ресурсов или биоресурсов, ведения сельского хозяйства или производства, туризма и отдыха, обороны и безопасности. Актуально создание внедорожного модуля, в котором предполагается задействовать малую и сверхлёгкую авиацию, внедорожники всех видов, амфибии, дирижабли (в первую очередь для доставки крупногабаритных грузов). Необходимо сформировать унифицированную линейку внедорожных транспортных средств, имеющих минимальную стоимость жизненного цикла, пригодных к ремонту в полевых условиях. Также потребуется создание единой цифровой платформы, центров обеспечения мобильности, которые организуют максимально эффективное взаимодействие транспортных предприятий, частных перевозчиков и индивидуальных владельцев транспортных средств. В этом случае станет возможен переход от оказания унифицированных транспортных услуг к концепции "Мобильность как услуга", ближайший аналог которой — уже привычный в больших городах "каршеринг". Структура многофункционального модуля представлена на рисунке 2.

Предложенный в настоящей статье порядок формирования комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла "Связанность территории РФ" может быть интерпретирован как "гейтовый подход", широко применяемый высокотехнологичными корпорациями в России и за рубежом при планировании и реализации программ и проектов [5]. Он позволяет осуществлять координацию научных исследований в несколько шагов, концентрируясь на конечном эффекте. Для этого в проекте выделяются этапы, для прохождения каждого из которых выставляются требования — их выполнение анализируется в точках контроля и принятия решений.

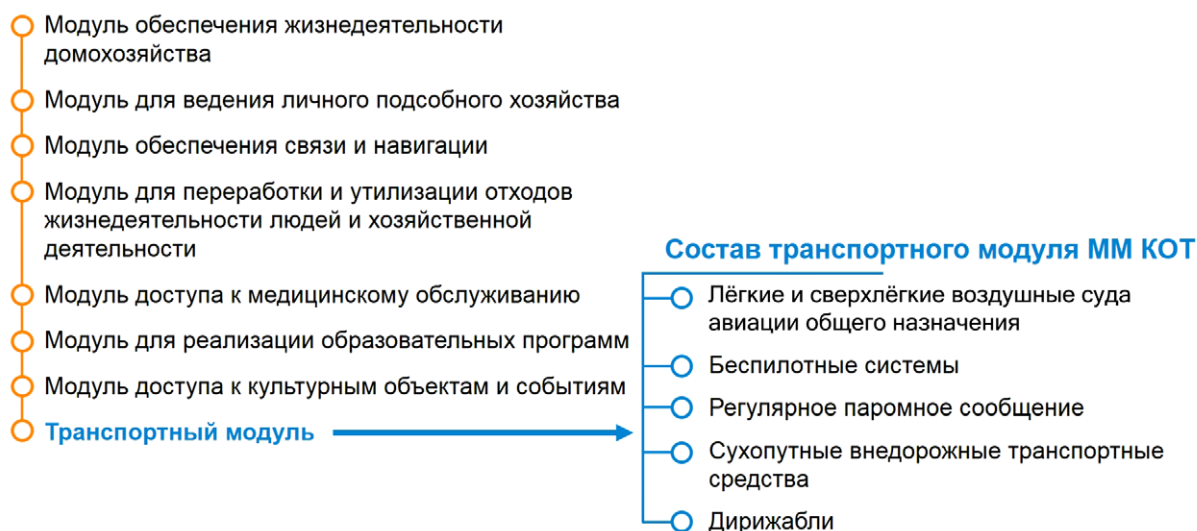


Рис. 2. Структура multifunctional модуля для комплексного освоения территорий

При достижении ожидаемых результатов происходит переход на следующий этап. Если выявлены отдельные отклонения, реализация проекта продолжается с доработкой и корректировкой. При существенных отклонениях проект возвращается на доработку. Такое структурирование научной деятельности будет способствовать более тесной увязке различного рода исследований в комплексных научно-технических программах и проектах.

Поступившие в Совет по приоритету НТР предложения имеют разную степень обоснованности и пока представляют собой только концепции возможных проектов. Следующим шагом по их разработке является анализ рынков, определение потенциальных заказчиков, формулирование бизнес-идей и оценка экономической целесообразности реализации проектов.

Все проекты, предложенные для включения в Программу, должны пройти экспертизу по критерию наличия реалистичных, обоснованных и потенциально решаемых в ближайшие 3–15 лет научно-технических задач, научно-технического задела и предполагаемых исполнителей проекта, а также заказчика и промышленных партнёров. Применение "гейтового подхода" при формировании Программы (рис. 3) реализует заложенный в Стратегии научно-технологического развития принцип полного инновационного цикла, позволяющий выявлять и устранять разрывы в инновационных цепочках, доводя результаты исследований и разработок до стадии практического применения и удовлетворяя спрос хозяйствующих субъектов на инновационные научно-технические решения.



Рис. 3. Гейты в формировании комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла "Связанность территории РФ"

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента РФ от 01.12.2016 № 642 "О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации". <http://kremlin.ru/acts/bank/41449>
2. Территория и административно-территориальное деление субъектов Российской Федерации на 1 января 2009 г. http://www.gks.ru/bgd/regl/b09_13/IssWWW.exe/Stg/html1/02-01.htm
3. Указ Президента РФ от 07.07.2011 № 899 (ред. от 16.12.2015) "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации". <http://kremlin.ru/acts/bank/33514>
4. Macleod G., Jones M. Territorial, scalar, networked, connected: In what sense a 'regional world'? // Regional Studies. 2007. V. 41. P. 1177–1191. https://www.ssoar.info/ssoar/bitstream/handle/document/13344/ssoar-2007-09-jones_et_al-territorial.pdf?sequence=1
5. Хлебникова Н.С., Чернов О.В. Гейтовая модель. Практика использования в Росатоме // Управление проектами. 2017. № 2(41). <https://pmmagazine.ru/articles/gejtovaya-model-praktika-ispolzovaniya-v-rosatome/>

TERRITORIAL CONNECTIVITY OF RUSSIAN FEDERATION: FROM STATEMENT OF COMPLEX TASKS TO COMPLEX SCIENTIFIC AND ENGINEERING PROJECTS FORMATION

© 2019 M.A. Pogosyan*, D.Yu. Strelets**, V.G. Vladimirova***

Moscow aviation institute (national research university)

*E-mail: mai@mai.ru; **E-mail: dimstrelets@rambler.ru; ***E-mail: uisk@mai.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 16.01.2019

Accepted: 18.02.2019

Complex scientific and engineering projects and full innovation cycle programs, ruled to be selected and formed by science and technology priorities' councils, are to become key tools for Strategy in scientific and technological development implementation. In this paper, we present an approach to such programs and projects, developed by the "Territorial connectivity" S&T priority council, formation. We give the "territorial connectivity" term, separate it by categories and subcategories, characterized by specific social, economic, and administrative-and-managerial problems. We propose the set of steps, that is a goal-oriented movement from determination of main program implementation directions to specification of essential complex social and economic objectives within each direction, and then discuss the development of stated problems-solving research plans, scientific and engineering projects, and national policy action frameworks. We use a stage-gate approach in program formation, which allows us to make necessary corrections at every stage of its implementation, as well as organize efficient communication with potential customers and participants.

Keywords: territorial connectivity, spatial development, complex scientific and engineering programs and projects, intelligent transport systems, forecast & simulation, transport and multifunctional infrastructure, smart city, smart territory.

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ В СФЕРЕ ОСВОЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

© 2019 г. В.А. Соловьёв*, А.А. Коваленко**, С.В. Соловьёв***

ПАО «Ракетно-космическая корпорация "Энергия" им. С.П. Королёва»,
г. Королёв, Московская область, Россия

*E-mail: vladimir.soloviev@rsce.ru; **E-mail: andrey.a.kovalenko@rsce.ru;

***E-mail: sergey.soloviev@scsc.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 14.12.2018 г.

Принята к публикации 16.01.2019 г.

Рассматриваются основные направления развития космонавтики, оказывающие влияние на обеспечение связанности территории Российской Федерации. Показана ключевая роль таких видов деятельности, как космическая навигация, космическая связь, дистанционное зондирование Земли. Подчёркнуто важнейшее значение прикладных и фундаментальных исследований в космосе. Приводится анализ тенденций в области прикладной космонавтики, отмечены существующие проблемы и способы их решения, предполагающие наращивание космической группировки научного назначения и дистанционного зондирования Земли, повышение точности позиционирования, доступности, помехозащищённости космической навигации.

Ключевые слова: космическая деятельность, связанность территории, дистанционное зондирование Земли, космические исследования, космическая навигация, ГЛОНАСС, космическая связь, международная космическая станция, тенденции развития космонавтики.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895496-501>

Космонавтика с самого своего рождения была и остаётся сферой человеческой деятельности, находящейся на пике научно-технического прогресса. Благодаря её успехам расширяются границы познания мира. Многие её достижения имеют практическое применение. Использование результатов, получаемых с помощью групп орбитальных аппаратов социально-экономического, научно-исследовательского и двойного назначения, приносит значительный экономический эффект в таких областях, как космическая навигация, космическая связь, дистанционное зондирование Земли, а также способствует совершенствованию применяемой техники. Космонавтика помогает обеспечивать связанность территорий крупных стран. Для России это особенно актуально в силу не только её протяжённости, большого

количества временных поясов, но и неравномерного распределения экономической деятельности, высокой концентрации населения в крупных агломерациях, сильного влияния погодных-климатических условий на функционирование транспортной инфраструктуры. Учитывая уникальные географические особенности, Россия просто обязана быть космической державой.

Можно рассматривать несколько уровней связанности территорий, реализация которых прямо и косвенно обеспечивается космической деятельностью:

- глобальная связанность на уровне международного взаимодействия и транспортно-логистических коридоров "Север—Юг", "Запад—Восток";
- межрегиональная связанность, включая макрорегиональную, между соседними регионами, межагломерационную;
- внутрирегиональная связанность агломерации с высокой плотностью населения, концентрацией экономической активности и территории с низкой плотностью населения и экономической активности при дефиците (отсутствии) традиционных путей сообщения (периферийные территории субъектов Российской Федерации в европей-

СОЛОВЬЁВ Владимир Алексеевич — член-корреспондент РАН, первый заместитель генерального конструктора РКК "Энергия" им. С.П. Королёва. КОВАЛЕНКО Андрей Александрович — кандидат технических наук, начальник отдела РКК "Энергия" им. С.П. Королёва. СОЛОВЬЁВ Сергей Владимирович — кандидат технических наук, ведущий конструктор РКК "Энергия" им. С.П. Королёва.

Таблица 1. Состояние мировой космонавтики

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

ской части России, сибирские и дальневосточные регионы), малонаселённые территории с особым геостратегическим статусом, в том числе Арктическая зона Российской Федерации.

Состояние и тенденции мировой космонавтики. Мировая космонавтика сегодня (табл. 1) — это около 1400 работающих космических аппаратов (КА) гражданского и двойного назначения и две орбитальные пилотируемые станции: Международная космическая станция (постоянно действующая) и китайская лаборатория "Тянгун-2" (посещаемая). Как видно из таблицы, в российской орбитальной группировке значимо представлена навигация — КА системы ГЛОНАСС, составляющие 24,8% всех аппаратов такого назначения в мире. А вот по числу спутников для дистанционного зондирования Земли (это одно из основных направлений для обеспечения связанности территории) мы серьёзно отстаём и, к сожалению, ликвидируем это отставание довольно медленно. Очень слабо представлена Россия и в мировой группировке КА научного назначения.

Рассматривая текущее состояние мировой космонавтики и принимая во внимание проекты по созданию КА и анонсированные запуски в ближайшее время, можно выделить такие её перспективы:

- увеличение числа КА различного назначения;
- расширение перечня стран, организаций и предприятий, эксплуатирующих КА;
- развитие низкоорбитальных систем связи непосредственного доступа;
- комплексирование различных космических систем (навигация, дистанционное зондирование

Земли) с наземными техническими средствами, приложениями;

- обеспечение многозадачности использования ракет-носителей и КА;
- увеличение количества научных КА и расширение круга космических исследований;
- увеличение числа частных компаний, производящих космическую технику, в том числе пилотируемые корабли.

Что касается российских приоритетов, они изложены в стратегических документах госкорпорации "Роскосмос" [1, 2]. Космическая связь, дистанционное зондирование Земли, фундаментальные космические исследования, которые Россия по большей части проводит на Международной космической станции, перспективные технологии — в целом эти направления развития космической отрасли позволяют обеспечить решение основных задач поддержания связанности территории Российской Федерации.

Рассмотрим более подробно основные виды социально-экономической и научной деятельности России в космическом пространстве.

Космическая навигация. В таблице 2 представлены существующие глобальные космические навигационные системы (по состоянию на сентябрь 2018 г.) [3, 4]. Если ГЛОНАСС и NAVSTAR (GPS) функционируют в полном составе, то Galileo (Европейский союз) и BEIDOU (Китай) находятся в стадии развёртывания. Помимо глобальных, действуют региональные системы (Индия, Япония). В создании и применении космической навигации Россия, безусловно, входит в число стран-лидеров.

Каковы же основные направления применения космической навигации? Это наземный и водный транспорт, обеспечение поиска и спасения терпящих бедствие, авиация, персональная навигация, геодезия и картография, мониторинг окружающей среды, строительство, сельское хозяйство, системы синхронизации времени, интересы безопасности. Всё 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

Таблица 2. Существующие глобальные космические навигационные системы

Система	Страна	Количество КА	Количество используемых КА	Состояние системы
ГЛОНАСС	РФ	26	24	функционирует
NAVSTAR (GPS)	США	32	31	функционирует
GALILEO	Европа	18	11	развёртывается
BEIDOU	Китай	36	17	развёртывается

с Международной космической станцией возможны в том числе благодаря данным космических навигационных систем. Одним словом, это достаточно большая сфера деятельности для обеспечения связанности территории Российской Федерации.

Основные мировые тенденции развития навигационных технологий в настоящее время ориентированы на повышение доступности навигационных данных в условиях сложного рельефа местности и городской застройки, на помехоустойчивость и имитостойкость радионавигационного сигнала, на точность и скорость сходимости высокоточных навигационно-временных определений. Отдельно необходимо отметить весьма многообещающее направление применения навигационных данных, а именно использование их для создания систем управления беспилотных транспортных средств. Комплексирование навигационного поля с инерциальными системами навигации, системами технического зрения и иными датчиками в абонентской аппаратуре пользователей позволит создавать новые и модернизировать имеющиеся транспортные средства с качественно новым уровнем обеспечения безопасности движения, в том числе в сложных погодных условиях. Существующие навигационные системы обеспечивают погрешность определения положения порядка 10 м, а для беспилотного транспорта необходимо иметь погрешность на два порядка меньше, то есть около 0,1 м.

В текущей конфигурации система ГЛОНАСС удовлетворяет потребности 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, координаты которой фиксируются с заведомо высокой точностью. Для этого необходимы базовые приёмники, расположенные в точках с определёнными координатами, которые одновременно с приёмником потребителя осуществляют синхронный приём данных одних и тех же навигационных КА. Распространение корректирующих поправок для таких больших территорий, как территория России, удобно осуществлять при помощи КА на геостационарной орбите.

Первейшая перспектива для российской группировки ГЛОНАСС — создание нового наземного сегмента и расширение сети корректирующих станций, особенно в Южном полушарии. Если в Северном полушарии существует относительно разветвлённая их сеть, то в Южном сеть корректирующих станций нужно развивать. Необходимо продолжить расширение орбитальной группировки навигационных КА и совершенствование их

самих. Это существенно повысит точность определения положения пользователей.

Существенная и приоритетная научно-техническая задача, стоящая перед отечественной космической навигационной системой, — повышение помехоустойчивости и имитостойкости распространения навигационных данных от КА на орбите до приёмного навигационного устройства потребителя. Можно сказать, что этот этап распространения данных — наиболее уязвимое место космической навигации и вследствие случайных воздействий, и в результате преднамеренного искажения. В условиях современного мира с его насыщенностью различными передающими устройствами и доступностью подобных средств данная проблема становится фактором, определяющим надёжность и работоспособность системы в целом.

Космическая связь. Для нашей страны, в силу её размеров, космическая связь, особенно важна. В настоящее время российская орбитальная группировка насчитывает 16 КА связи на геостационарных орбитах, 12 КА на низких орбитах и 3 КА многофункциональной системы ретрансляции "Луч", которые функционируют на геостационарной орбите, причём достаточно активно — в интересах управления Международной космической станцией. Все эти КА исправны, обеспечивают фиксированную и подвижную спутниковую связь, передачу данных, потребности радиовещания и телевидения.

Россия производит собственные КА связи, но с большой долей импортных приборов для полезной нагрузки. В современных условиях необходимо обратить самое серьёзное внимание на импортозамещение в области аппаратуры полезной нагрузки национальных КА связи.

К числу мировых тенденций развития спутниковой связи следует отнести увеличение пропускной способности КА связи (HTS — high-throughput satellite), весьма заметное в последнее время. Этому способствует, в частности, 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. Кроме того, появляется возможность повторного использования частот в выделенном диапазоне для отдельного КА связи. Таким образом обеспечивается многоплановая связь с помощью одного КА вместо нескольких, что даёт существенный экономический эффект. Развиваются технологии создания гибких полезных нагрузок, позволяющих 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 развития космической связи — создание многоспутниковых систем малых КА на низких околоземных орбитах. Основное преимущество таких систем состоит в возможности иметь малогабаритную, дешёвую и весьма компактную персональную потребительскую аппаратуру для обеспечения связи с КА. В нашей стране сходные задачи предполагается решать в рамках перспективной программы "Сфера".

Тенденции развития спутниковой связи в Российской Федерации ясны. К 2025 г. госкорпорация "Роскосмос" планирует нарастить 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. Интегрально возможности космических систем связи возрастут более чем 2,5 раза, что существенно расширит спектр услуг непосредственного телевизионного вещания и телевизионного вещания высокой чёткости, широкополосного доступа в Интернет и т. п.

Системы космической связи становятся базой для решения задач цифровой экономики, телемедицины, системы дистанционного образования. С расширением группировки КА на геостационарной орбите и, что очень важно, развёртыванием КА связи и вещания на высокоэллиптической орбите может быть решена проблема качественного и полноценного телекоммуникационного обеспечения северных и арктических регионов. У нас значительное количество населённых пунктов — около 6000. В северных и дальневосточных районах Российской Федерации из-за особенностей их расположения они могут быть связаны только через КА на высокой эллиптической орбите.

Дистанционное зондирование Земли. Задачи дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в российской космонавтике в настоящее время выполняют высокоточный 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 они осуществляют съёмку в оптическом диапазоне спектра. Российские радиолокационные КА в настоящее время на орбите отсутствуют. Таким образом, российская группировка КА дистанционного зондирования Земли имеет очевидные предпосылки для наращивания своей численности.

В современном информационном обществе потребность в актуальных данных ДЗЗ постоянно увеличивается. Число задач, в которых применяются эти данные, также неуклонно возрастает, в основном за счёт геоинформационных систем и приложений пользователей негосударственного сектора.

И подобная тенденция оказывает наибольшее влияние на развитие соответствующих космических средств.

Ведущая общемировая тенденция развития космических систем дистанционного зондирования Земли состоит в повышении оперативности получения информации. И единственный действенный способ решения этой задачи — увеличение числа КА на орбите в составе группировки. Появляются и реализуются проекты космических систем ДЗЗ, обеспечивающие ежедневный или даже непрерывный режим съёмки территории Земли. Новые современные данные более детализированы, а значит, больше в объёме. Поэтому активное распространение получают облачные технологии хранения и обработки этих данных в интересах конечных потребителей. Необходимо отметить, что собственно данные ДЗЗ выступают в роли сервиса для геоинформационных систем пользователей или приложений. В результате отпадает необходимость в их приобретении, потребитель также получает возможность пользоваться результатом проведённого анализа информации.

Основные направления развития и совершенствования КА дистанционного зондирования Земли в Российской Федерации включают расширение орбитальной группировки КА ДЗЗ для увеличения периодичности наблюдения; улучшение базовых характеристик съёмочной аппаратуры (пространственного разрешения, динамического диапазона и т. п.) в видимом, инфракрасном и радиолокационном диапазоне; создание высокоэллиптической гидрометеорологической космической системы и существенное наращивание метеорологической группировки.

В числе важных задач — интенсивное освоение аппаратуры для радиолокационной съёмки, по сути всепогодной, не зависящей от условий освещённости и потому обладающей очевидными преимуществами, особенно с учётом погодных-климатических и географических особенностей нашей страны. И ещё одна задача, в первую очередь для научных организаций, — поиск и внедрение новых методов и аппаратуры ДЗЗ с иными принципами съёмки.

За рубежом активно работают над созданием орбитальных группировок малых КА ДЗЗ. Они будут способствовать существенному увеличению оперативности получения данных дистанционного зондирования, а также апробации новых технических решений в условиях космического полёта. Отработанные таким образом новые технологии могут быть использованы в других по назначению космических аппаратах.

Космические исследования. Научные исследования в космосе проводятся и с помощью автоматических аппаратов, и на Международной космической станции. Как показано в таблице 1, в настоящее время на орбите (по состоянию на сен-

тябрь 2018 г.) присутствует всего один российский аппарат научно-исследовательского назначения — "Спектр-Р", не считая российского сегмента МКС. Для воссоздания группировки, помимо продолжения развёртывания российского сегмента МКС, к 2025 г. 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 неведомости и ионизирующей радиации на различные организмы в ходе полёта — 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 работают представители России, Соединённых Штатов Америки, Европы, Японии, Канады, доверяя партнёрам [5]. Можно утверждать, что такой большой международный космический проект поддерживает глобальную международную связанность. Но при этом прагматичное мировое сообщество желает иметь дела с Россией исключительно в тех областях, где мы занимаем достойное положение. При проведении совместных экспериментов в космическом пространстве мы друг у друга довольно многому можем поучиться. В качестве примера приведём упоминавшийся КА "Спектр-Р", созданный НПО им. С.А. Лавочкина и в 2011 г. запущенный на орбиту с апогеем 330 000 км, перигеем 600 км, то есть он долетает почти до Луны. Период обращения на такой высокой вытянутой эллиптической орбите около 8 суток. Этот аппарат работает по программе международного эксперимента "Радиоастрон". В рамках данного проекта создан космический радиointерферометр со сверхбольшой базой: один радиотелескоп находится на Земле, второй — в космосе. Эксперимент ведётся уже 7 лет, и все эти годы в нём участвуют учёные России, Соединённых Штатов Америки, Европы, Японии, Австралии и Южной Кореи [6].

В фундаментальных исследованиях на борту МКС активное участие принимают Российская академия наук и организации Минобрнауки России. Например, Объединённый институт высоких температур РАН и ПАО РКК "Энергия" уже несколько лет реализуют программу "Плазменный кристалл". В ходе её проводится серия экспериментов по созданию плазмы высокочастотного разряда с заданными параметрами, автоматическому вводу в плазму пылевых частиц требуемого размера, при этом ведётся видеорегистрация

образующихся плазменно-пылевых структур при изменении параметров плазмы. Эти работы носят международный характер. Активное участие в экспериментах на МКС принимает Институт космических исследований РАН: серия экспериментов "Плазма-Ф", "БТН-Нейтрон", "Конвергенция", "Чибис-М", "МКС-Обстановка" и ряд других [7–9].

Говоря о реализации в ближайшем будущем проектов "умных городов", конечно, сложно обойтись без такой составляющей, как телемедицинские космические каналы, расширяющие возможности профессиональной медицинской телеконсультации. То же касается и образования, популяризации науки, космических исследований. Это важнейшая составляющая космической деятельности, если иметь в виду образовательные программы для повышения интереса к научным исследованиям у школьников и студентов, а также пропаганду достижений отечественной космонавтики. В этом направлении очень активно работают Московский авиационный институт, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Московский государственный университет им. 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 с борта Международной космической станции, позволяют отбирать талантливую молодёжь и как можно раньше начинать её учить.

* * *

Российская орбитальная космическая группировка на базе освоенных технологий обеспечивает решение текущих задач с плавным ростом их сложности и объёма в перспективе. Однако в дальнейшем использование результатов космической деятельности будет обусловлено в первую очередь потребительскими технологиями, сопутствующими сервисами и разнообразием доступных приложений для пользователей. Для всего мира возникает серьёзная проблема — технологическое старение создаваемой космической техники. Дальнейшее её совершенствование должно опираться на новые технические решения, новые материалы. Над этим нужно активно работать организациям Российской академии наук и госкорпорации "Роскосмос".

Наряду с решением текущих задач и задач ближайшего будущего мы должны попытаться сформулировать стратегические цели космонавтики с учётом развития цивилизации и естественных человеческих устремлений. Первая цель — это, безусловно, работа в космосе для улучшения жиз-

ни человека на Земле, а также сохранение Земли как уникальной и единственной известной в настоящее время населённой биологической системы во Вселенной. Из свойства уникальности Земли вытекает вторая цель. В высшей степени интересно и важно искать новые формы жизни за пределами нашей планеты, за пределами Солнечной системы. Наконец, с учётом того, что ресурсы Земли не безграничны и могут быть как исчерпаны, так и безвозвратно нарушены, формулируется третья цель космонавтики — поиск способов расширения границ земной жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития космической деятельности России до 2030 года и на дальнейшую перспективу. <http://knts.tsniimash.ru/ru/src/CenterInfRes.pdf> (дата обращения 01.10.2018).
2. Федеральная космическая программа РФ на 2016—2025 г. <https://www.roscosmos.ru/22347> (дата обращения 02.10.2018).
3. Федеральная целевая программа "Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012—2020 годы". <http://federalbook.ru/files/OPK/Soderjanie/OPK-9/V/Glonass.pdf> (дата обращения 10.10.2018).
4. <https://www.glonass-iac.ru/>
5. Долгосрочная программа научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на РС МКС до 2024 года. <http://knts.tsniimash.ru/ru/src/Files/dp.pdf> (дата обращения 04.10.2018).
6. Кардашев Н. С., Алакоз А. В., Ковалёв Ю. Ю. и др. "Радиоастрон": итоги выполнения ранней научной программы исследований объектов Вселенной со сверхвысоким угловым разрешением // Вестник НПО 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. и др. Технология запуска микроспутников с использованием транспортных грузовых кораблей типа "Прогресс-М" // Космическая техника и технологии. 2015. № 1. С. 42—52.
9. Solov'ev V. A., Markov A. V., Sorokin I. V., Lubinskii V. E. Applied scientific Research on the International Space Station and new Flight-Control Technologies // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. № 3. P. 229—236; Соловьёв В. А., Марков А. В., Сорокин И. В., Любинский В. Е. Научно-прикладные исследования на Международной космической станции и новые технологии управления полётом // Вестник Российской академии наук. 2017. № 6. С. 495—504.

PRIORITY SCIENTIFIC AND TECHNICAL TASKS IN THE FIELD OF EXPLORATION AND EFFICIENT USE OF OUTER SPACE

© 2019 V. A. Soloviev*, A. A. Kovalenko**, S. V. Soloviev***

S. P. Korolev Rocket and Space Public corporation "Energia", Moscow, Russia

*E-mail: vladimir.soloviev@rsce.ru; **E-mail: andrey.a.kovalenko@rsce.ru;

***E-mail: sergey.soloviev@scsc.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 14.12.2018

Accepted: 16.01.2019

The article discusses the main directions of development of cosmonautics, which have an impact on ensuring the connectivity of the territories of the Russian Federation. The key role of such areas of space activity as space navigation, space communications, remote sensing of the Earth, applied and fundamental research in space is shown. An analysis of the development trends of applied cosmonautics, existing problems and ways to solve them is conducted: increasing the scientific space and remote sensing group of the Earth, methods of improving the accuracy of positioning, availability, noise immunity of space navigation, etc.

Keywords: space activities, connectedness of territories, remote sensing of the Earth, space research, space navigation, GLONASS, space communications, International Space Station, directions in the development of cosmonautics.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СВЯЗАННОСТИ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

© 2019 г. А.А. Лутовинов^{1*}, Е.А. Лупян^{1**}, М.А. Погосян^{2***}, А.О. Шемяков^{2****}

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

²Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

*E-mail: lutovinov@iki.rssi.ru; **E-mail: evgeny@d902.iki.rssi.ru;

E-mail: mai@mai.ru; *E-mail: shemyakov@mai.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 23.01.2019 г.

Принята к публикации 20.02.2019 г.

Авторами представлены описание, научно-технические задачи и перспективы развития Системы объективного дистанционного мониторинга объектов и ресурсов на территории России. Основная задача такой системы — получение объективной оперативной информации для оценки текущего состояния областей и регионов, их ресурсного потенциала, планирования направлений развития страны, а также объективного контроля за выполнением инфраструктурных проектов. Предлагаемая система может стать составной частью комплексных научно-технологических проектов и программ, направленных на решение задач связанности территории России.

Ключевые слова: информационные системы дистанционного мониторинга, спутниковые системы наблюдения Земли, технологии автоматизированной обработки данных, данные дистанционного зондирования, распределённые информационные системы, сверхбольшие архивы данных, объективная информация, связанность территорий.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895502-508>

Одной из составных частей комплексных научно-технологических проектов и программ, направленных на решение задач объединения территории нашей страны, является Система объективного дистанционного мониторинга объектов и ресурсов для обеспечения информационной связанности России. Основная задача системы — получение объективной оперативной информации для оценки текущего состояния областей и регионов, их ресурсного потенциала, планирования направлений развития, а также контроля за выполнением различных проектов. Отсутствие независимой от субъективных оценок, человеческого фактора, мнений заинтересованных ведомств интегральной информации не всегда позволяет дать объективную оценку те-

кущего состояния регионов, а в масштабах страны затрудняет, а иногда и делает невозможным стратегическое планирование и прогнозирование её развития, приводит к серьёзным недочётам в определении наиболее значимых точек роста, необходимости поддержки тех или иных проектов и способов их реализации.

Очевидно, что получать такую объективную информацию можно только методами дистанционного зондирования из космоса или с летательных аппаратов. Это обусловлено, во-первых, тем фактом, что наша страна имеет огромную территорию, большая часть которой малонаселена, а во-вторых, тем, что современные технологии позволяют проводить полностью автоматизированную обработку сверхбольших объёмов данных дистанционного зондирования, свидетельство чему — прорывные отечественные разработки в этой области. Российские специалисты по дистанционному зондированию используют данные не только отечественной группировки спутников, но и находящиеся в открытом доступе данные зарубежных космических аппаратов, что позволяет проводить комплексный анализ состояния территории нашей страны.

ЛУТОВИНОВ Александр Анатольевич — доктор физико-математических наук, профессор РАН, заместитель директора по научной работе ИКИ РАН. ЛУПЯН Евгений Аркадьевич — доктор технических наук, заместитель директора ИКИ РАН. ПОГОСЯН Михаил Асланович, — академик РАН, ректор МАИ (НИУ). ШЕМЯКОВ Александр Олегович — кандидат технических наук, проректор по стратегическому развитию МАИ (НИУ).

Технологическая основа создания системы объективного дистанционного мониторинга. Своевременность создания такой системы во многом определяется тем, что в области спутникового дистанционного зондирования в последнее десятилетие произошли большие, во многих случаях революционные изменения. К ним в первую очередь относятся:

- развитие систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе рост их количественных и качественных характеристик; как следствие — взрывное увеличение объёма получаемой от них информации;
- быстрое развитие методов автоматизированной обработки данных ДЗЗ, позволившее начать массовое получение объективной информации о различных объектах и ресурсах;
- развитие информационных технологий, обеспечивающих максимально автоматизированную, в том числе распределённую, работу с данными ДЗЗ, а также их хранение;
- создание и внедрение специализированных систем дистанционного мониторинга.

Ниже мы лишь кратко проиллюстрируем эти изменения.

Развитие систем ДЗЗ. По состоянию на начало 2018 г. на орбите Земли действовало более 420 (по данным <http://database.eohandbook.com>) космических аппаратов ДЗЗ, данные нескольких десятков из которых общедоступны. По нашему мнению, настоящим прорывом в развитии средств ДЗЗ стал запуск и ввод в эксплуатацию полной группировки Planet Labs (США), в которую входит около 200 микроспутников (по данным NORAD — Командования воздушно-космической обороны Северной Америки). Есть все основания полагать, что в ближайшие годы с учётом уменьшения стоимости создания спутников (за счёт использования готовых решений и стандартизированных платформ типа Cubesat), будут созданы и другие крупные спутниковые группировки. Так, по оценкам фирмы Euroconsult, к 2026 г. на орбите будет действовать более 1000 систем ДЗЗ [1], что приведёт к фактически взрывному росту объёма данных, поступающих от систем ДЗЗ. Это подтверждает сделанные несколько лет назад прогнозы Европейского космического агентства (ESA) [2] о фактически экспоненциальном росте в ближайшие годы объёмов архивов спутниковых данных и получаемых на их основе различных информационных продуктов (рис. 1). Прогнозы иллюстрируются примерами, приведёнными на рисунках 2 и 3.

Развитие методов автоматизированной обработки данных ДЗЗ. В последние годы активно совершенствуются методы автоматизированной обработки данных ДЗЗ для обеспечения воз-

можности получения объективной информации в различных областях — от контроля ресурсов и процессов до оценки чрезвычайных ситуаций и их последствий. Эти работы успешно ведутся и в России. Например, особую актуальность приобрело создание методов анализа данных ДЗЗ для оценки и мониторинга лесных ресурсов, потому что леса России относятся к важнейшей составляющей ресурсно-экологического потенциала страны. Но будучи бесспорным мировым лидером по объёму этого природного богатства, наша страна в настоящее время обладает лишь весьма приблизительным представлением о нём, поскольку не располагает точными сведениями о характеристиках лесов, необходимыми для понимания их экономического и экологического потенциала, а следовательно, и правильного его использования [3, 4]. Между тем современный этап развития методологии спутникового мониторинга лесов определяется беспрецедентно высоким уровнем доступности спутниковых данных, 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, в первую очередь в институтах РАН (Институт космических исследований, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов и др.), уникальные технологии дистанционного мониторинга лесов, которые в настоящее время активно используются для решения как научных, так и прикладных задач [3, 5]. Уже сегодня они позволяют на локальном, региональном, федеральном и глобальном уровне регулярно обеспечивать получение объективной информации, необходимой для оптимизации управления доступными лесными ресурсами, в том числе для решения следующих задач:

- охрана лесов от пожаров;
- защита от насекомых-вредителей и болезней;
- организация и контроль лесопользования (в том числе выявление незаконных рубок), работ по воспроизводству лесов;
- контроль использования лесных участков, предоставленных в аренду, постоянное (бессрочное) и безвозмездное срочное пользование;
- контроль охотничьих ресурсов.

Таким образом, в настоящее время имеется возможность обеспечивать на основе современных технологий ДЗЗ целую отрасль объективной оперативной информацией, необходимой для её эффективного функционирования. Такие технологии могут быть достаточно быстро разработаны и в интересах других отраслей и направлений деятельности.

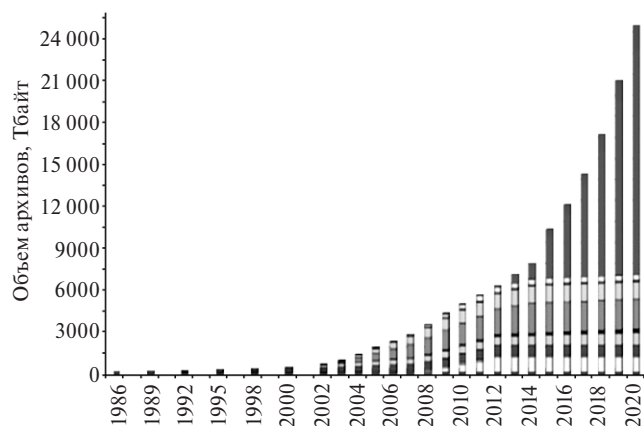


Рис. 1. Темпы роста архивов данных ESA, в том числе прогнозируемые до 2020 г.

Цветом обозначен вклад разных спутников и их группировок в рост объема данных (подробнее см. М. Альбани, 2012)

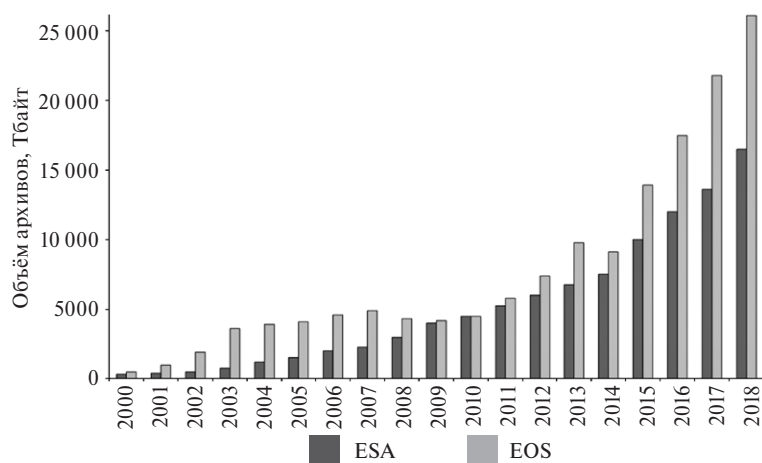


Рис. 2. Темпы роста архивов ESA* и EOS**

*По данным https://earth.esa.int/documents/1656065/1664726/8-LTDP_activities_future.pdf

**По данным <https://earthdata.nasa.gov/eosdis-cumulus-project>

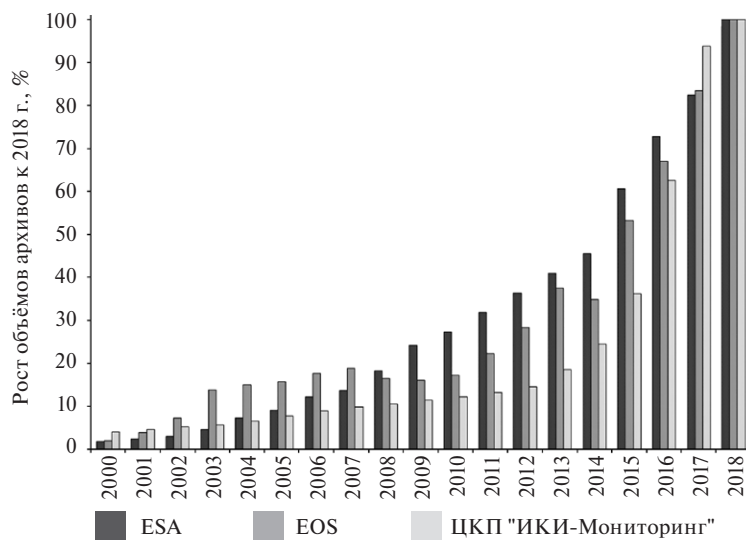


Рис. 3. Относительные темпы роста архивов ESA, EOS и ЦКП "ИКИ-Мониторинг" (нормированные на объем архивов в 2018 г.)

Развитие технологий ДЗЗ. Расширение возможностей систем ДЗЗ и новые методы обработки данных позволяют существенно расширить круг применения методов дистанционного зондирования. В связи с этим потребовались специальные технологии, которые могли бы обеспечить практически полностью автоматизированный цикл получения, архивации, обработки и распространения информации на основе данных ДЗЗ и в итоге — построения информационных систем дистанционного мониторинга различных объектов, процессов и ресурсов. Работы по созданию таких технологий в последнее десятилетие активно ведутся в России, в основном силами институтов РАН (см., например, [6]). Возможности данных технологий описаны в работах [7–10].

Создание специализированных систем дистанционного мониторинга. По разным оценкам, в нашей стране действуют несколько десятков специализированных региональных и федеральных систем дистанционного мониторинга, созданных в последнее десятилетие и решающих научные и прикладные задачи. В этом отношении Россия сегодня не уступает наиболее развитым странам. Отметим, что подавляющее большинство действующих в стране систем созданы с использованием методов, подходов и технологий, разработанных в институтах РАН. В их числе:

- информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз, <http://www.pushkino.aviales.ru>) [11, 12], обеспечивающая мониторинг лесных пожаров на всей территории России;
- отраслевая информационная система мониторинга Федерального агентства рыбного хозяйства (ОСМ Росрыболовства, <http://osm.smislab.ru/>), ориентированная на мониторинг промысловых судов [13];
- объединённая система работы с архивами спутниковых данных центров приёма НИЦ "Планета" Росгидромета (<http://moscow.planeta.geosmis.ru/>), позволяющая решать задачи в области метеорологии и мониторинга окружающей среды [14];
- информационная система "Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил" VolSatView (<http://volcanoes.smislab.ru/>) для решения задач мониторинга и изучения вулканической активности Камчатки и Курил [15];
- спутниковый сервис See The Sea (<http://ocean.smislab.ru/>) — информационная система, ориентированная на работу с данными спутниковых наблюдений для решения междисциплинарных научных задач исследования Мирового океана [16].

Всё сказанное выше можно предварительно суммировать следующим образом. Созданы новые методы обработки данных. Сформирована

уникальная структура работ с этими данными, она ничем не уступает, а в чём-то и превосходит западные аналоги. Накоплены уникальные многолетние архивы данных. Они важны потому, что необходимо не только в настоящий момент знать о происходящем на той или иной территории, но и уметь прогнозировать её дальнейшее развитие, а для этого надо иметь представление о состоянии региона в недавнем прошлом — 10–30 лет назад. Исследования по ДЗЗ ведутся в нескольких десятках институтов и вузов, они находят реальное применение, в частности, более 80% действующих информационных систем дистанционного мониторинга созданы с участием научных организаций Российской академии наук и Министерства науки и высшего образования РФ. Таким образом, уже подготовлена техническая и технологическая основа создания системы объективного дистанционного мониторинга объектов и ресурсов на территории РФ для обеспечения информационной связанности страны.

Общая схема системы, потенциальные заказчики и потребители. Создаваемая информационная система должна решать две основные задачи: первая из них — получение объективной оперативной информации для оценки и контроля состояния ресурсов (лесных, водных, сельскохозяйственных, минеральных и т. д.), развития регионов (энергоснабжение, использование земель, строительство и т. д.), транспортной инфраструктуры (развитость, планирование развития, строительство), последствий чрезвычайных ситуаций (ущерб, ресурсы для ликвидации), экологии, контроля выполнения работ, субсидируемых из федерального бюджета; вторая задача — предоставление инструментов для распределённой работы с информацией. Таким образом, в первую очередь система будет востребована федеральными и региональными органами власти, потому что должна обеспечить объективный оперативный контроль состояния регионов, планирование и прогнозирование развития, эффективность управления.

Кроме того, система может быть востребована и реальным сектором экономики для получения объективной информации при планировании работ и инвестиционных проектов. Необходимо отметить, что даже крупные компании обычно заинтересованы в получении информации о каком-то довольно ограниченном наборе процессов и ресурсов и не обращают должного внимания на развитие комплексных систем мониторинга территорий. Более того, в ряде случаев компании желали бы избежать появления методов объективного контроля за их деятельностью на той или иной территории. Однако если подобная система появится, бизнес, безусловно, станет её потребителем. Это касается и крупных компаний, работающих во многих реги-

онах, и компаний, планирующих расширить своё присутствие в регионах, а также банков, страхового бизнеса. Для компаний, разрабатывающих и предлагающих информационные услуги, участие в проекте может быть привлекательно тем, что в дальнейшем у них появится возможность расширять сферу своих услуг.

На рисунке 4 показана общая схема создаваемой системы. Два нижних уровня представляют собой техническую и технологическую основу её разработки и уровень специализированных информационных систем (как уже существующих, так и вновь создаваемых или дорабатываемых). Третий уровень предполагает интеграцию, сбор и обработку информации. Как отмечено выше, современные системы дистанционного мониторинга решают вполне конкретные прикладные задачи, имеют достаточно много параметров, и для разных систем они разные. Чтобы полученные данные использовать для анализа и принятия решения, необходимо отобрать ключевые параметры каждой системы, провести между ними корреляцию и интеграцию информации и выдать её на следующий уровень — аналитический, на котором интегрированная информация используется для оценки состояния территории

страны, прогнозирования и планирования развития. Результаты работы на этом уровне могут быть использованы в качестве объективных данных для планирования и прогнозирования при принятии управленческих решений на разных этапах исполнительной власти.

Научно-технические задачи и разрабатываемые технологии. Научно-технические задачи, на решение которых направлен проект, могут быть сведены в четыре больших блока:

- создание технологии дистанционного мониторинга всей территории России для получения объективных характеристик состояния её регионов (состояние объектов инфраструктуры, динамика развития, состояние окружающей среды и природных ресурсов);
- создание информационной системы (включая техническую инфраструктуру), обеспечивающей оперативное получение объективных характеристик состояния регионов России;
- разработка и внедрение научно-обоснованных подходов использования информации, получаемой в результате автоматизированного оперативного дистанционного мониторинга, для принятия решений по управлению и развитию Российской Федерации;



Рис. 4. Общая схема системы и её блоки

Тёмно-серым цветом отмечены уже существующие блоки, светло-серым — требующие доработки или вновь разрабатываемые блоки

- подготовка специалистов нового поколения, способных эффективно внедрять и использовать разработанные технологии, методы и системы.

Решение этих задач потребует новых технологий для эффективной работы с данными ДЗЗ при принятии управленческих решений. В их числе:

- технологии работы со сверхбольшими распределёнными архивами;
- новые автоматизированные методы обработки данных, позволяющие получать количественные объективные характеристики различных явлений, процессов и объектов;
- модели развития процессов и явлений, ориентированные на использование данных ДЗЗ для принятия управленческих решений;
- новые уже внедрённые информационные системы дистанционного мониторинга, многие из которых включены в циклы принятия решений;
- методы оценки динамики развития региона на основе объективной информации, получаемой с помощью ДЗЗ, включая критерии оценки эффективности управления регионами;
- методы использования получаемой информации для проведения оценок, планирования и прогнозирования развития регионов, в том числе контроля и планирования транспортной инфраструктуры;
- методы объективной оценки ущерба от неблагоприятных природных и антропогенных воздействий.

Предлагаемая система в первую очередь обеспечивает технологическую основу получения объективной оперативной информации на всей территории страны. Она создаст технологическую базу для планирования контроля крупных инфраструктурных проектов и, безусловно, будет способствовать развитию технологий во многих областях, начиная от космоса, авиации, агро- и аквахозяйства, картографии, геоинформационных систем и заканчивая проблематикой социальных и экономических наук, затрагивающей новые методы планирования, управления, принятия решений.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках разрабатываемой в Институте космических исследований РАН темы "Мониторинг", госрегистрация № 01200602988.

ЛИТЕРАТУРА

1. Euroconsult, Satellites to be built & launched by 2026. 2017. <http://www.euroconsult-ec.com/research/satellites-built-launched-by-2026-brochure.pdf>
2. Albani M. Long Term Data Preservation: status of activities and future ESA programme // Presented at GSCB Workshop 2012 ESA/ESRIN, Frascati 6–7 June 2012. <https://>

earth.esa.int/documents/1656065/1664726/8-LTDP_activities_future.pdf

3. Исаев А. С., Барталёв С. А., Лупян Е. А., Лукина Н. В. Спутниковое зондирование Земли — уникальный инструмент мониторинга лесов России // Вестник РАН. 2014. № 12. С. 1073–1079.
4. Лукина Н. В., Исаев А. С., Крышень А. М. и др. Приоритетные направления развития лесной науки как основы устойчивого управления лесами // Лесоведение. 2015. № 4. С. 243–254.
5. Барталёв С. А., Егоров В. А., Жарко В. О. и др. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016.
6. Лупян Е. А., Саворский В. П., Шокин Ю. И. и др. Современные подходы и технологии организации работы с данными дистанционного зондирования для решения научных задач // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. № 5. С. 21–44.
7. Лупян Е. А., Балашов И. В., Бурцев М. А. и др. Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. № 5. С. 53–75.
8. Кашницкий А. В., Лупян Е. А., Балашов И. В., Константинова А. М. Технология создания инструментов обработки и анализа данных сверхбольших распределённых спутниковых архивов // Оптика атмосферы и океана. 2016. № 9. С. 772–777.
9. Лупян Е. А., Бурцев М. А., Прошин А. А., Кобец Д. А. Развитие подходов к построению информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. № 3. С. 53–66.
10. Прошин А. А., Лупян Е. А., Балашов И. В. и др. Создание унифицированной системы ведения архивов спутниковых данных, предназначенной для построения современных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. № 3. С. 9–27.
11. Барталёв С. А., Ершов Д. В., Коровин Г. Н. и др. Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. № 2. С. 97–105.
12. Лупян Е. А., Барталёв С. А., Ершов Д. В. и др. Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. № 5. С. 222–250.
13. Пыrkов В. Н., Солодилов А. В., Дегай А. Ю. Создание и внедрение новых спутниковых технологий в системе мониторинга рыболовства // Современные

- проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. № 5. С. 251–262.
14. Лупян Е.А., Милехин О.Е., Антонов В.Н. и др. Система работы с объединёнными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ "Планета" // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 89–97.
 15. Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А. и др. Информационная система VolSatView для решения задач мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил // Вулканология и сейсмология. 2016. № 6. С. 1–16.
 16. Лупян Е.А., Матвеев А.М., Уваров И.А. и др. Спутниковый сервис See the Sea – инструмент для изучения процессов и явлений на поверхности океана // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. № 2. С. 251–262.

PROVIDING TERRITORIAL CONNECTIVITY OF RUSSIAN FEDERATION WITH USAGE OF EARTH'S REMOTE SENSING

© 2019 A.A. Lutovinov^{1*}, E.A. Lupyan^{1**}, M.A. Pogosyan^{2***}, A.O. Shemyakov^{2****}

¹*Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia*

²*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia*

*E-mail: lutovinov@iki.rssi.ru; **E-mail: evgeny@d902.iki.rssi.ru;

E-mail: mai@mai.ru; *E-mail: shemyakov@mai.ru

Received 03.12.2018

Revised received 23.01.2019

Accepted 20.02.2019

The authors presented a description, scientific and technical tasks, and development prospects of the System of objective remote monitoring of facilities and resources in Russia. The main task of such a system is to obtain objective operational information for assessing the current state of regions, their resource potential, planning the development of the country, as well as objective monitoring of the realization of infrastructure projects. The proposed system can become an integral part of complex scientific and technological projects and programs aimed at solving the problems of connectedness of the territory of Russia.

Keywords: remote monitoring information systems, Earth observation satellite systems, automated data processing technologies, remote sensing data, distributed information systems, extra-large data archives, objective information, connectedness of territories.

РОССИЙСКАЯ ОКЕАНОЛОГИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ БИОРЕСУРСОВ МИРОВОГО ОКЕАНА

© 2019 г. Г.Г. Матишов^{1,2*}, К.Д. Матишов^{3**}, Е.Э. Кириллова^{2***}

¹Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, Мурманск, Россия

²Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

³Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

*E-mail: matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru; **E-mail: kmatishov@gmail.com;

***E-mail: ekirilova@ssc-ras.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 11.01.2019 г.

Принята к публикации 04.02.2019 г.

Авторы анализируют современные проблемы обеспечения исследований, проводимых российскими учёными-океанологами. Наряду с ретроспективной обозначены перспективы освоения биологических ресурсов Мирового океана. Отмечено, что без современного морского научного и рыбопромыслового флота решить широкий круг задач, связанных с присутствием России в Мировом океане и продовольственной безопасностью страны, будет трудно.

Ключевые слова: океан, климат, мониторинг, морские биоресурсы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895509-512>

Океанология — комплексная междисциплинарная наука, включающая в себя такие важные направления, как метеорология, гидрофизика, гидрохимия, морская геология и биология. Исследования, проводимые учёными-океанологами, очень важны, поскольку морские биоресурсы, по всей вероятности, составят основу питания населения нашей планеты уже в ближайшем будущем. В мире начинается научная и техническая гонка в освоении наиболее богатой и продуктивной шельфовой зоны. Для изучения морей и океанов необходимы высококвалифицированные кадры, современные технологии и морские суда. В Российской Федерации только некоторые институты РАН [1] и отдельные ведомства, имеющие морские научные суда, продолжают совершать комплексные морские экспедиции — это Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалев-

ского РАН, Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Южный научный центр РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, ГНЦ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт.

К сожалению, после распада СССР сеть стационарных и передвижных постов наблюдений за морской и метеорологической обстановкой в стране резко сократилась, особенно за Полярным кругом. В таких условиях сделать качественный среднесрочный и долгосрочный прогноз изменений окружающей среды, особенно опасных природных явлений, очень трудно [2–4]. При этом в многочисленных математических моделях зачастую недостаточно учитывается влияние морского льда на климат. Морской лёд — один из важнейших индикаторов климата — до сих пор изучен слабо. Современные технологии дистанционного зондирования Земли с использованием спутников позволяют дать только приближённую оценку изменений в ледовом покрове. Масштабная авиаразведка ледовой обстановки не проводилась более 20 лет, хотя во времена Советского Союза ею были охвачены арктические площади в десятки тысяч квадратных километров.

Логистические проблемы на трассе Северного морского пути отрицательно сказываются на работе промысловиков, военных, транспортни-

МАТИШОВ Геннадий Григорьевич — академик РАН, научный руководитель Южного научного центра РАН, главный научный сотрудник ММБИ КНЦ РАН. МАТИШОВ Константин Дмитриевич — аспирант Астраханского государственного технического университета. КИРИЛЛОВА Елена Эдуардовна — кандидат географических наук, старший научный сотрудник Южного научного центра РАН.

ков. Вместе с тем нужно отметить, что на севере России началось возрождение морских портов и аэродромов, столь необходимое для заселения огромных заполярных пространств. С освоением этой территории сюда должна прийти и спутниковая связь, столь необходимая при современных научных изысканиях.

Северный морской путь — важнейшая трасса для российской Арктики в том числе и потому, что в настоящее время в этом регионе активно расширяются коммерческие нефтегазовые работы. Жизнь и экономика Крайнего Севера очень зависимы от развития атомного флота и масштабов грузоперевозок по Севморпути. В СССР по нему перевозилось около 7 млн т грузов, к 2020 г. Россия будет транспортировать 8—10 млн т. Но не мы одни заинтересованы в развитии транспортных перевозок этим маршрутом. Фактически все арктические и даже очень далёкие от Арктики страны стараются закрепить свои интересы в зоне Северного Ледовитого океана. Например, Китай активно сотрудничает с Россией в целях совместного использования арктических маршрутов в глобальном проекте "Один пояс — один путь", вступает в кооперацию исследований с нашими институтами, строит свои ледоколы и суда ледового класса.

Президент РФ В.В. Путин обратил особое внимание на необходимость развития туризма. На повестке дня — организация высокоширотного туризма на атомных ледоколах. Привлечение зарубежных туристов в российскую Арктику положительно отразится на имидже нашей страны.

Сегодня экономика должна опираться на разумные климатические прогнозы, чтобы заранее знать, на какой урожай можно рассчитывать в поле и улов в море. Велико значение и точного оперативного прогноза, который должен основываться на результатах прямых наблюдений. Это касается не только климата, но и ресурсов добычи. Только фактические данные, полученные с помощью научных судов, могут служить источником объективной информации о запасах биоресурсов в океанах и морях — от рыб и морских млекопитающих до зоопланктона и первичных продуцентов. Суммарная биомасса Мирового океана составляет, по оценкам, примерно 40 млрд т. Наиболее богат биоресурсами Тихий океан, а в Арктике самый продуктивный промысловый водоём — Баренцево море.

Общемировой объём производства водных биоресурсов (морской добычи и товарной аквакультуры) в 2017 г. составил 172 млн т, при этом объём производства продуктов, полученных в аквакультуре, — 81 млн т, то есть почти половина общего объёма. А ещё 20 лет назад это соотношение

было совершенно иным, доля аквакультуры не достигала и 10%.

Какова же ситуация с производством водных биоресурсов в России? Наша страна была и остаётся морской рыболовной державой. Но если во времена СССР в морях и океанах вылавливалось до 11 млн т в год, Советский Союз входил в тройку мировых лидеров по океаническому промыслу биоресурсов, то Россия эти позиции утратила. Например, в 2017 г. было получено всего 4,6 млн т рыбопродукции, 70% которой пришлось на Дальний Восток. Мировой лидер по вылову ресурсов в естественной среде и выращиванию аквакультуры — Китай, производящий 20% общемировой морской биопродукции, в то время как на Россию приходится всего 5%. Есть над чем задуматься с позиций продовольственной безопасности, особенно на среднесрочную перспективу.

Действующая схема рыбопромыслового районирования не соответствует современным представлениям о границах морских экосистем, состоянию и перспективам морского природопользования [5]. Эту схему необходимо обновить с применением современных методов морского пространственного планирования.

Рыбодобывающая отрасль занимает важное место в снабжении населения России продовольствием. В настоящее время годовое потребление рыбной продукции на душу населения составляет 11—12 кг, что в 2 раза меньше, чем рекомендовано Министерством здравоохранения РФ. О важности развития рыбного хозяйства свидетельствуют целевые ориентиры, поставленные перед рыбной промышленностью "Концепцией развития рыбохозяйственной науки в Российской Федерации на период до 2020 г." и "Стратегией развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 г.". Согласно этим документам, ставится задача достигнуть потребления рыбопродуктов в объёме 22—27 кг/чел. в год и самообеспечения рыбопродукцией на 80—90%. Следует заблаговременно начать подготовку к предстоящему масштабному освоению российского арктического шельфа нефтегазодобывающей, рыбной промышленностью, морским транспортом и другими отраслями.

При объяснении причин рыбопромыслового спада нельзя не отметить такую проблему, как перелов [2—4]. В Арктике жизнь палтуса, окуня, других рыб связана с полярными гидрофронтами, притоком тёплых вод Гольфстрима. Сокращение здесь численности массовых промысловых рыб было предопределено плановым наращиванием добычи биоресурсов. Например, в Баренцевом море в 1970—1980-х годах ежегодный вылов рыбы достигал очень большой величины — 3—4 млн т. Внача-

ле переловили рыбу всех ценных пород, а потом и её кормовую базу — мойву, бычка, сайку, кильку, которые ранее считались малоценными видами.

Как и во времена Советского Союза, различные ведомства озабочены необходимостью повышения плодородия наших водоёмов — и морских, и озёрных, и океанских. Первый путь — заводское воспроизводство молоди: создание рыбозаводных заводов и зарыбление рек, выпуск в них мальков и молоди рыб. Второй путь — интродукция: с Дальнего Востока в южные моря (Азовское, Чёрное) и Баренцево море в советское время завозили горбушу, камчатского краба. Камчатский краб прижился, сегодня это самый выгодный с точки зрения бизнеса промысел.

Марикультура как в Советском Союзе, так и в современной России была и остаётся в зачаточном состоянии. В 2017 г. в условиях аквакультуры выращено 170—180 тыс. т рыбной продукции, около 1 кг в год на душу населения. Так что возможности для роста производства очень большие. Основа успеха — наличие в стране полной инженерно-технологической цепочки марикультуры. Необходимо обеспечить соответствующий объём технических средств для функционирования аквакомплексов, организовать производство комбикормов для питания рыб, причём корма должны быть дифференцированы для каждого вида рыб с учётом возрастных и половых особенностей. Важно развивать нетрадиционные объекты аквакультуры из видов рыб, находящихся под угрозой исчезновения [6].

Ещё об одном перспективном направлении. В настоящее время ракообразные составляют лишь небольшую часть общего мирового улова. Очень скромную долю продуктов моря составляют морские водоросли и другие донные растения. Численно преобладающая жизненная форма морской экосистемы — фитопланктон, его больше всего по биомассе, но он практически не используется в питании человека. Это наши пищевые резервы.

В поиске морских биоресурсов Япония, Норвегия, Польша и другие развитые морские страны двинулись в Южный океан, к краям льдов Антарктиды. Это громадная акватория, где мы раньше присутствовали. Рыболовный океанический флот СССР вылавливал в этом районе нототению, клыкача, криль. Уловы криля — мелких рачков — за один час траления составляли от 50 до 90 т, то есть 1—2 товарных рефрижераторов. В настоящее время мировая квота вылова криля — 9 млн т, примерно половину этого объёма добывают западные страны. Но запасы криля составляют, по самым минимальным оценкам, 1 млрд т. Важно энергично расширять исследования биоресурсов Мирового океана, в нём нема-

ло неиспользуемых запасов рыб и колоссальные запасы не только криля, но и калянуса, других мелких ракообразных.

Отечественный рыбный флот сокращается, морально устарел и физически изношен. Есть и современные суда, но их очень мало, и они сосредоточены на Севере и Дальнем Востоке нашей страны, в южных морях их практически нет. Чтобы найти богатые в промышленном отношении районы в океанах и морях, требуется новейший рыболовный флот (включая вспомогательные суда), который соответствовал бы мировым стандартам был эффективен и экономичен.

Опираясь на Стратегию пространственного развития Российской Федерации, которую мы обсуждаем, и безусловную необходимость подъёма на новый технологический и научный уровень работ в Мировом океане, в судостроении предстоит реализовать следующие важнейшие направления.

- Построить дрейфующую ледостойкую самодвижущуюся платформу "Северный полюс" (она уже заложена на АО "Адмиралтейские верфи" в Санкт-Петербурге). Эта плавучая обсерватория для российских научных исследований и мониторинга окружающей среды придёт на смену полярным дрейфующим станциям. Она будет способна дрейфовать в суровых условиях Северного Ледовитого океана в течение двух лет без захода в порт, обеспечивая при этом комфортные условия для находящихся на борту полярных исследователей и членов экипажа.

- Необходима постройка морских судов с оборудованием для глубоководного бурения морского дна. Такое бурение требуется, в частности, для получения образцов континентальной коры в районе арктического шельфа.

- Нужно обновить рыболовный морской и океанический флот, о роли которого уже было сказано.

- Для развития аквакультуры необходимо создать специализированный маломерный флот.

- Предстоит увеличить потенциал исследовательского флота, в том числе для Российской академии наук, Министерства науки и высшего образования РФ. Нам нужны более экономичные корабли, поэтому целесообразно модернизировать существующие или построить новые суда водоизмещением 1,5—2,5 тыс. т. У Академии наук такие корабли есть, но их крайне мало.

Наряду с развитием современных технологий надо поднять на новый уровень климатологию. Расширение фронта исследований в этой области науки будет способствовать повышению точности климатических и погодных прогнозов, предсказуемости урожая как наземных, так и водных биоресурсов, что отвечает интересам продовольственной и национальной безопасности нашей страны.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования проведены в рамках Государственного задания № АААА-А18-118122790121-5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспедиционные исследования на научно-исследовательских судах ФАНО России и архипелаге Шпицберген в 2017 г. / Под ред. Р.И. Нигматулина, С.К. Коновалова, Н.И. Голубевой. М.: ФГБУН МГИ РАН, 2018.
2. *Matishov G. G., Dzhenyuk S. L.* Arctic Challenges and Problems of Polar Science // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2012. № 5. P. 355–362; *Матишов Г. Г., Дженюк С. Л.* Арктические вызовы и проблемы полярной науки // Вестник РАН. 2012. № 10. С. 921–929.
3. *Matishov G. G., Dzhenyuk S. L., Moiseev D. V.* Climate and Large Marine Ecosystems of the Arctic // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. № 1. P. 30–39; *Матишов Г. Г., Дженюк С. Л., Моисеев Д. В.* Климат и большие морские экосистемы Арктики // Вестник РАН. 2017. № 2. С. 110–120.
4. *Matishov G. G., Dzhenyuk S. L.* Pressing Challenges in the Study of the Litoral and Arctic Zones of the Seas and Oceans of Russia // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2018. № 5. P. 431–439; *Матишов Г. Г., Дженюк С. Л.* Неотложные задачи исследования прибрежной и арктической зоны морей и океанов России // Вестник РАН. 2018. № 10. С. 936–945.
5. *Матишов Г. Г., Балыкин П. А., Пономарёва Е. Н.* Рыбохозяйственное районирование – первый этап пространственного планирования морехозяйственной деятельности в Арктике // Наука Юга России. 2018. № 2. С. 33–41.
6. *Матишов Г. Г., Пономарёва Е. Н., Коваленко М. В., Тажбаева Д. С.* Практика аквакультуры судака, пиленгаса, щуки Азовского бассейна. Ростов.н/Д: ЮНЦ РАН, 2017.

RUSSIAN OCEANOLOGY AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF BIORESOURCES OF THE WORLD OCEAN

© 2019 G.G. Matishov^{1,2*}, K.D. Matishov^{3**}, E.A. Kirillova^{2***}

¹*Murmansk Marine Biological Institute, Koli Science Center, RAS, Murmansk, Russia*

²*Southern Research Center, RAS, Rostov-on-Don, Russia*

³*Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia*

*E-mail: matishov_ssc-ras@ssc-ras.ru; **E-mail: kmatishov@gmail.com;

***E-mail: ekirillova@ssc-ras.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 11.01.2019

Accepted: 04.02.2019

The author analyzes the current problems of providing research conducted by Russian scientists and oceanographers. Along with the retrospective, the prospects for the development of biological resources of world oceans are outlined. It is noted that it will be difficult to solve a wide range of problems associated with the presence of Russia in the world oceans, as well as food security of the country, without a modern marine scientific and fishing fleet.

Keywords: ocean, climate, monitoring, marine biological resources.

ВЫСТУПЛЕНИЕ АКАДЕМИКА РАН Н.С. БОРТНИКОВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: минеральные ресурсы, Мировой океан, марганцевые конкреции, кобальтоносные корки, гидротермальные системы, колчеданные руды.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895513-514>

Связанность территории Российской Федерации невозможна без развития транспорта, увеличения выпуска разнообразных транспортных средств, а для этого требуются металлы. Впрочем, они используются и во многих других отраслях, например, в электронике — от сотовых телефонов до суперкомпьютеров. Не будем забывать и о применении металлов в качестве катализаторов. Например, рений нужен для производства ракетного топлива.

Увеличение спроса на металлы — общемировая тенденция. Аппетиты общества растут: производство металлов удвоилось всего за четверть века. Но человечество потребляет ресурсы такими темпами, что вскоре спрос превысит предложение. Это видно на примере золота, мировой дефицит добычи которого уже составляет 740 т. Конечно, наиболее используемый металл — железо, на втором месте после него по этому критерию — медь. В ближайшие 25 лет меди должно быть произведено столько, сколько за предшествующие 3 тыс. лет. Пик её производства ожидается около 2030 г., затем прогнозируется снижение.

Возникает целый ряд вопросов. Можем ли мы решить надвигающуюся проблему дефицита металлов и других видов минерального сырья путём открытия новых традиционных или ранее неизвестных источников? Если эти резервы достаточны, можно ли вовлечь их в эксплуатацию в ближайшее время? Имеются ли технологические возможности для полного извлечения ценных компонентов без риска для жизни населения и окружающей среды? Каков должен быть инвестиционный и налоговый климат, для того чтобы обеспечить рентабельную добычу? Как добиться того, чтобы добыча полезных ископаемых не вредила развитию сельского и других отраслей хозяйства, а также экологическому благополучию национальных парков, заповедников и иных природных объектов?

Запасы континентальных месторождений необратимо истощаются, и человечеству потребуются новые источники сырья. В этой связи важное значение приобретает изучение Мирового океана. Он покрывает две трети поверхности Земли

и перспективен для выявления новых типов руд. Подводные месторождения содержат более 60 различных металлов. В качестве источника многих из них рассматриваются прежде всего марганцевые конкреции и кобальтоносные корки. Помимо упомянутых железа, меди, золота, они содержат теллур, молибден, висмут, платину, вольфрам, цирконий, ниобий, редкоземельные элементы. Так, запасы теллура на дне океана предположительно в 6 тыс. раз превышают запасы на суше. Запасы других металлов, хотя и в разной степени, но также выше, чем на суше. Поэтому, полагаю, подводные разработки руд — это новая парадигма в добыче металлов в XXI в. Как видно, сбывается пророчество фантаста Жюль Верна, автора романа "Двадцать тысяч лье под водой".

Большие надежды связываются с гидротермальными системами, активность которых приводит к образованию сульфидных руд цветных и благородных металлов. Они открыты около 40 лет назад в Восточно-Тихоокеанском поднятии, а затем и других районах Мирового океана. За четыре десятилетия исследований обнаружено более 630 таких проявлений, 192 из них — это высокотемпературные сульфидные постройки, расположенные на глубинах от 300 до 5000 м. С этими подводными системами ассоциирована уникальная фауна, особенность которой в том, что она лишена возможности потреблять энергию Солнца и существует за счёт химического синтеза.

Возможно ли обнаружение новых гидротермальных полей? Сколько всего "чёрных курильщиков" на дне океана? По предположительным оценкам, крупных гидротермальных систем в Мировом океане около 1000. Ресурсы 62 глубоководных рудопроявлений оцениваются приблизительно в 50 млн т. Но мнения по объёмам запасов расходятся: по оптимистической оценке, ресурсы меди в океане в 600 раз превышают резервы руд на суше и позволяют обеспечить производство этого металла на протяжении 6 тысячелетий. По пессимистической (или более реалистичной) оценке, запасов меди в океане всё-таки меньше — около 60 млн т.

В мире уже подготовлено оборудование для разработки глубоководных месторождений и поднятия руды на борт судов. В частности, компанией из Бельгии такое оборудование и коллекторная система для добычи железомарганцевых конкреций испытаны. У меня нет информации о существовании таких систем в России, но для страны, создавшей луноход, предполагаю, конструирование оборудования для работы на океанском дне не должно представлять неразрешимой задачи.

Мы обладаем пока только предварительными знаниями о разнообразии и распределении

минеральных ресурсов на дне Мирового океана, поскольку с некоторой степенью детальности изучено менее 5% площади морского дна. Нам необходимо продолжить эти исследования, чтобы расширить представление об условиях залегания руд, качестве, запасах, возможных технологиях добычи и методах сохранения уникальных экосистем. По-прежнему в строю замечательное судно "Академик Мстислав Келдыш" с глубоководным обитаемым аппаратом "Мир-2" на борту, так что у нас есть возможности для продолжения работ.

SPEECH OF THE ACADEMICIAN OF RAS N.S. BORTNIKOV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: mineral resources, World Ocean, manganese nodules, cobaltiferous crusts, hydrothermal systems, pyritic ores.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН В.Д. КАМИНСКОГО

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: Арктика, внешняя граница континентального шельфа, ресурсы нефти, геофизические исследования.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895515-516>

В своём кратком сообщении попытаюсь рассказать об основных проблемах, связанных с поиском, обнаружением и освоением углеводородных ресурсов Северного Ледовитого океана и особенно Центральной Арктики за пределами 200-мильной экономической зоны, где наша страна отстаивает свои позиции по обоснованию внешних границ.

Количественная оценка ресурсов нефти в пересчёте на газоконденсат, по данным на 1 января 2017 г., подтверждает, что арктический шельф — главный резерв нефте- и газодобывающей промышленности России в XXI в. В его недрах содержится около 105 млрд т углеводородного сырья в пересчёте на нефтегазовый эквивалент.

Для нефтяных ресурсов арктического шельфа характерны следующие важнейшие особенности:

- крайняя неравномерность распространения по площадям, основная часть извлекаемых ресурсов приурочена к недрам наиболее изученных западных арктических морей — Печорского, Баренцева и Карского;
- доминирование в составе ресурсов свободно-газа (84%) и скромная доля жидких углеводородов — нефти (11%) и конденсата (5%);
- преобладание ресурсов низшей категории (Д-1, Д-2) в связи с недостаточно высокой изученностью запасов.

Международный интерес к изучению Арктики стимулировало принятие в 1982 г. Конвенции по морскому праву, в которой определено, что каждое прибрежное государство может претендовать на площади за пределами 200-мильной экономической зоны, если сумеет доказать, что основание этих площадей имеет континентальную природу и является естественным продолжением геологических структур материка.

Россия, ратифицировавшая Конвенцию по морскому праву в 1997 г., спустя четыре года первой из всех стран подготовила заявку в комиссию ООН по границам континентального шельфа. В рамках подготовки первого варианта российской заявки были обработаны батиметрические, сейсмические, магнитометрические, гравиметрические и другие данные комплексных геолого-геофизических исследований с 1960 по 2000 г. Составлен ряд важных

карт: рельефа дна, аномального магнитного поля и гравитационного поля Арктики и многие другие карты, разрезы, схемы. О наших приоритетах при получении этих данных говорит тот факт, что, картируя Центральную Арктику, мы использовали отечественные аэромагнитные съёмки протяжённостью более 2 млн погонных километров, измерения на точках более 60 тыс. первичных посадок на лёд в рамках Высокоширотных воздушных экспедиций "Север".

Российская заявка обсуждалась в ООН в июле 2002 г., и Комиссией по границам континентального шельфа были даны рекомендации по проведению дополнительных работ. Для выполнения этих рекомендаций с 2002 по 2014 г. в центральную часть Арктического бассейна России (районы хребта Ломоносова, поднятия Менделеева, котловины Подводников) проведено девять уникальных комплексных геолого-геофизических экспедиций с использованием научно-исследовательских и атомных ледоколов, а также научно-исследовательских подводных лодок. Ледокольное научно-исследовательское судно "Академик Фёдоров" было специально переоборудовано для сейсмических работ во льдах мощностью до 3 м. В ходе экспедиций применялись абсолютно новые технологии, учитывающие сложные ледовые условия.

На современном аппаратурно-методическом уровне выполнены батиметрические наблюдения с многолучевым эхолотом (35 000 км), комплексные сейсмические исследования методом отражённых волн общей глубинной точки (более 23 000 км), зондирования методом отражённых волн и методом преломлённых волн (более 4000 км), исследования на основе глубинного сейсмического зондирования (данные 150 зондов), аэрогеофизические наблюдения (магниторазведка, гравиразведка) со 120 станций геологического опробования.

В результате многостороннего анализа с использованием современных программных продуктов построен ряд геолого-геофизических карт, специальных геофизических разрезов и схем. Привлечение альтиметрических данных, полученных в результате изучения акватории вплоть до 80° с.ш., позволило внести в эти карты значительные уточ-

нения. А на основе материалов сейсмических исследований и моделирования гравиметрических полей составлены карты мощности осадочного чехла и земной коры, представляющие базу не только новых геологических знаний, но и оценки ресурсов составляющих шельфа.

С учётом всех этих материалов было подготовлено, а 3 августа 2015 г. в Комиссию по границам континентального шельфа подано частично пересмотренное Представление в отношении континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане. В соответствии с обновлённой заявкой Российская Федерация с юридических позиций претендует на расширение площади своего шельфа (дополнительно около 1 200 000 км²).

На территории, о которых идёт речь, претендуют пять государств. Кстати, на недавнем семинаре с участием учёных арктических государств можно было убедиться, что подходы к изучению геологического строения объектов у нас с иностранными коллегами общие, а в технологическом уровне проведения исследований российские учёные, что очень приятно, не уступают зарубежным.

Региональный этап наших исследовательских работ, о которых здесь шла речь, нуждается в завершении, а для этого требуется принятие общей координирующей межведомственной программы. Потребность в ней диктует и то обстоятельство, что на многие перспективные участки шельфа Роснефтью и Газпромом уже получены лицензии.

Необходимо продолжать поисковые работы в нефтегазоносных районах шельфа Арктики, где прогнозируется присутствие, как уже упоминалось, около 105 млрд т углеводородных ресурсов. Кроме того, предполагается, что в районах за пределами 200-мильной зоны ресурсы нефти и газа в пересчёте на нефтяной эквивалент могут составить 8–11 млрд т, а это существенный объём. В то же время себестоимость добычи в Арктике критично высокая. При этом значительная часть углеводородов предназначена для внешних рынков, конкурировать на них приходится с продукцией, добываемой в несопоставимых горно-геологических и климатических условиях. Важно учитывать,

что серьёзное давление на рынки энергоносителей уже в краткосрочной перспективе будет оказывать развитие новых технологий добычи сланцевого газа, газогидратов, возобновляемых источников энергии, что в совокупности определяет высокие экономические риски в освоении углеводородных ресурсов на арктическом шельфе.

Возвращаясь к научным проблемам, хочу напомнить о прекрасно зарекомендовавшей себя федеральной целевой программе "Мировой океан", объединяющей усилия различных ведомств и, конечно, профильных институтов Академии наук. Реализация предшествующих этапов программы немало поспособствовала не только углублению знаний о природе океана, но и помогла точнее оценить как геологические, так и биологические его ресурсы.

К большому сожалению, в 1990-е годы были свёрнуты многие важные для страны опытно-конструкторские работы. Тогда прекратили своё существование многие СКБ, специализировавшиеся на создании аппаратуры, техники добычи в море. Эти научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы нужно возродить. Требуется серьёзная кооперация в рамках общей программы, включающей, в частности, аэрокосмические исследования, с помощью которых можно увидеть, например, выделения газогидратов, зафиксировать проявления углеводородов на побережье и мелководном шельфе.

По моему убеждению, развитие арктических территорий надо рассматривать как единое целое. На примере Сабетты в Ямало-Ненецком автономном округе мы видим, как вокруг узла, содержащего огромные запасы минерального сырья, формируется наземная и морская инфраструктура, здесь решаются жилищные и другие проблемы. Сабетта влияет на динамику развития всего региона. Аналогичный вариант возможен и в Тикси.

И последнее. На мой взгляд, для более полного использования оперативной геолого-географической информации, получаемой при изучении шельфа, необходимо создать единую интеллектуально-информационную систему геологических и географических знаний Арктического региона России.

SPEECH OF THE RAS CORRESPONDING MEMBER V.D. KAMINSKY

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: Arctic, outer boundary of the continental shelf, oil resources, geophysical studies.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА НИИАС ОАО "РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ" ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК И.Н. РОЗЕНБЕРГА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: российские железные дороги, интеллектуализация управления, ГИС-технологии, железнодорожная инфраструктура, беспилотный железнодорожный транспорт, подвижной состав, распределённые технические системы, цифровая железная дорога.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895517-518>

Российские железные дороги сегодня — это 88 тыс. км эксплуатационной длины путей, более 5,5 тыс. станций, 30 тыс. самоходных единиц подвижного состава, миллионы вагонов с использованием нашей инфраструктуры, около 1 млн штатных сотрудников и более 1 трлн 200 млрд руб. годового оборота.

Для более эффективного управления всей этой сложной системой с учётом приоритетов научно-технологического развития Правительство Российской Федерации и правление ОАО "Российские железные дороги" в декабре 2017 г. одобрили проект "Цифровая железная дорога". Его ключевые наукоёмкие составляющие — искусственный интеллект, нейротехнологии, интеллектуальные транспортные и телекоммуникационные системы, большие данные, промышленный интернет вещей, беспроводная связь, компоненты робототехники, включая беспилотный железнодорожный транспорт.

Особое место в общей программе инновационного развития железных дорог отведено технологиям на основе геоинформационных систем. ГИС-технологии занимают центральное место в решении задач интеллектуализации управления железнодорожной инфраструктурой и перевозочным процессом, обеспечения безопасности движения поездов. Они используются для формирования единого временного информационного пространства на всей сети железных дорог, пространственной и временной синхронизации всех реализуемых на железных дорогах бизнес-процессов, информирования диспетчерского аппарата о текущей ситуации, реализации эффективных алгоритмов принятия решений и технологических процессов с использованием геопространственных данных. Мы интегрировали ГИС-технологии с глобальными навигационными спутниковыми системами, оснастили их средствами беспроводной цифровой связи, и к настоящему времени именно они стали наиболее эффективным, реаль-

но действующим инструментом цифрового управления сетью железных дорог, их пространственной интеграции в международные транспортные коридоры.

За последние годы совместно с институтами РАН и ведущими вузами была разработана научная методология когнитивного геоинформационного управления сложными распределёнными техническими системами. Реализована технология геокодирования и комплексной обработки геоданных, предложены математические модели и алгоритмы адаптивной навигации на основе спутниковых данных и цифровых моделей железнодорожного пути. На основе этих исследований созданы опытные системы управления беспилотным железнодорожным транспортом, в частности, на станции Лужская Октябрьской железной дороги маневровый локомотив управляется уже без участия машиниста с использованием интервальной бессветофорной интеллектуальной системы.

Разработанные в НИИАС технологии управления подвижным составом нашли применение при осуществлении проекта Московского центрального кольца, что позволило перевезти за последние 2 года 222 млн пассажиров.

Одна из важнейших задач, стоящих перед отраслью в ближайшие годы, — расширение сети железных дорог. А для этого требуется прогноз развития транспортной системы. Мы должны представлять, какой объём грузов и в каких направлениях будет перевозиться через 10–15 лет. Без научных данных, в том числе с использованием дистанционного зондирования Земли, в моделировании грузопотоков не обойтись. Вот почему так важно, на наш взгляд, продолжать отраслевые исследования в тесной кооперации с институтами РАН.

Необходимо объединить усилия с академической наукой и в других областях, таких как климат, атмосферные явления, потому что инфра-

структура, в том числе железнодорожная, крайне зависима от погодных условий. Пример — обледенение контактной сети, представляющее немалую опасность. У нас созданы ситуационные центры, мы предоставляем информацию диспетчерам для принятия решений, но необходимого массива разнообразных данных, которые может предоставить только наука, не хватает. Большую опасность представляет оттаивание мерзлотных грунтов в зоне Байкало-Амурской магистрали. Необходимы постоянные наблюдения за состоянием рек, озёр и других водоёмов в зонах, где много мостов и других объектов железнодорожной инфраструктуры.

Крайне важно развивать системы искусственного интеллекта. Это касается, в частности, когнитивного анализа геопространственных данных и решения других задач формализованного математического семантического описания, получаемого в результате обработки данных мобильного

лазерного сканирования, геодезических измерений, и всё это в едином высокоточном координатном пространстве. Необходимо разработать модели неопределённости и проанализировать возможности их использования в интеллектуальных системах, которые позволяют обрабатывать информацию, являющуюся зачастую неточной, неопределённой и противоречивой, и уже на основе этого анализа обеспечивать корректную поддержку принятия решения. Здесь интересны подходы к теории неопределённости, базирующейся на теории неточных вероятностей, включая теорию неаддитивных мер, теорию функции доверия, теорию возможности, а также ряд моделей из теории нечётких множеств. Без фундаментальных исследований мы не сможем справиться с этими задачами.

В заключение ещё раз подчеркну: успех проекта "Цифровая железная дорога" возможен только при объединении усилий отраслевых учёных и учёных Российской академии наук.

**SPEECH OF THE GENERAL DIRECTOR OF THE RESEARCH
AND DESIGN INSTITUTE FOR INFORMATION TECHNOLOGY, SIGNALING
AND TELECOMMUNICATIONS IN RAILWAY TRANSPORTATION, THE RUSSIAN
RAILWAYS COMPANY, DOCTOR OF ENGINEERING I.N. ROSENBERG**

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: Russian railways, management intellectualization, GIS technologies, railway infrastructure, unmanned railway transport, rolling stock, distributed technical systems, digital railway.

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН**

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"

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СОВЕТА ПО ПРИОРИТЕТУ АКАДЕМИК РАН И.М. Донник

**ВЫСТУПЛЕНИЕ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ КОМИТЕТА СОВЕТА
ФЕДЕРАЦИИ ПО АГРАРНО-ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ПОЛИТИКЕ
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЮ А.П. МАЙОРОВА**

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: Российская академия наук, стратегия пространственного развития, народное хозяйство.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895519-519>

Прежде всего от имени председателя Верхней палаты Совета Федерации и членов Палаты хочу поприветствовать участников заседания, пожелать продуктивной и конструктивной работы. Роль науки в современном мире крайне высока. Какое место будет занимать наша страна на мировых рынках, как мы будем выглядеть на фоне общеэкономической ситуации, в плане развития различных отраслей производства, сельского хозяйства во многом зависит от отечественной науки.

Сейчас мы активно взаимодействуем с Российской академией наук. Представители научного сообщества во главе с президентом РАН А.М. Сергеевым принимают активное участие в различных

мероприятиях на площадке Совета Федерации. Для совершенствования современного законодательства очень важна координация его экспертного научного обеспечения, которое осуществляют представители Академии наук.

Недавно состоялось совместное заседание руководства Совета Федерации во главе с председателем Верхней палаты Парламента В.И. Матвиенко и президиума РАН. Обсуждались самые разные вопросы — от стратегии пространственного развития до развития отраслей народного хозяйства. В результате было подписано соглашение о сотрудничестве. Я уверен, что наша работа и дальше будет носить конструктивный и плодотворный характер.

**SPEECH OF THE CHAIRMAN OF THE COUNCIL OF THE FEDERATION COMMITTEE
FOR AGRARIAN AND FOOD POLICY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
A.P. MAYOROV**

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: Russian Academy of Sciences, spatial development strategy, national economy.

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ПРЕДСЕДАТЕЛЯ СОВЕТА ПО ПРИОРИТЕТУ ВИЦЕ-ПРЕЗИДЕНТА РАН АКАДЕМИКА РАН И.М. ДОННИК

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: сельское хозяйство, аграрная наука, химическая и биологическая защита, цифровое сельское хозяйство, мониторинг, селекция, переработка, метагеномика, роботизация и автоматизация.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895520-521>

Разрешите поблагодарить всех, кто откликнулся на наше приглашение, особенно руководителей департаментов различных министерств, а также представителей регионов, которые нашли время приехать. Также я приветствую министров сельского хозяйства из регионов, их заместителей, руководителей сельскохозяйственных институтов, директоров научно-исследовательских институтов и ректоров вузов.

В формулировке нашего приоритета, наверное, ключевым можно считать слово "переход", и этот переход должен быть не плавным, а прорывным, так как, согласно майскому указу Президента РФ, на него отводится мало времени, цифровая экономика должна преобразовать приоритетные сферы, в том числе сельское хозяйство.

Сельское хозяйство — непростая отрасль. Несмотря на сравнительно невысокую долю занятости в нём, оно важно не только для России, но и для всех зарубежных стран. К сожалению, ИТ-специалистов в отрасли сравнительно мало, в то время как объём рынка этой отрасли с каждым годом возрастает. Исходя из этого, совместно с Минсельхозом России нами были разработаны концепция и подпрограмма "Цифровое сельское хозяйство". В работе принимало участие значительное число организаций и авторов из разных отраслей. Кроме того, существенной помощью в реализации такой подпрограммы стала Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы, утверждённая постановлением Правительства РФ от 25.08.2017 г. № 996. Мы надеемся, что наша программа также найдёт отклик.

Что же такое "умное" сельское хозяйство? Наши коллеги из Агрофизического научно-исследовательского института разработали модель сельского хозяйства будущего. С её учётом мы предлагаем пять первоочередных направлений, которые могли бы охватывать все области науки и производства, это, в частности, и "умное" поле, и "умное" земледелие, и "умные" фермы. Смысл заключается в создании замкнутой интеллекту-

альной системы, в рамках направлений которой должны быть составлены проекты полного инновационного цикла.

Согласно прогнозу научно-технологического развития АПК, подготовленному Высшей школой экономики, основными направлениями стратегии развития сельского хозяйства, помимо цифровизации, должны стать: генетические ресурсы, создание машин нового поколения, новые технологии хранения и переработки продукции, а также инновации в деле защиты животных и растений. Соответственно, прорывные области исследований — это геномные, когнитивные, навигационные, климатические и т. п. В результате, как сказал академик М. П. Кирпичников, мы должны прежде всего обрести технологическую независимость. Необходимо получить новые сорта, новые технологии с учётом меняющегося климата. А его изменение — общепризнанный факт. Наши коллеги из Санкт-Петербурга показали, что только за последние 20 лет в 3–4 раза увеличилось количество неблагоприятных погодных явлений в определённые сезоны. Такие последствия приводят к переувлажнению или пересыханию почв, гибели урожаев и потере их качества.

Показатели выполнения программы достаточно высокие. Их невозможно было бы реализовать в отсутствие основательного научно-технологического задела. Среди них: разработка средств дистанционного зондирования; мониторинг состояния земель с помощью беспилотных летательных аппаратов, контролирующих качество внесения удобрений и погрешности обработки почвы, выявляющих площади с угнетённой или больной растительностью, болезненные участки, зоны застоя воды; технологии локального внесения средств защиты беспилотными аппаратами или же локального внесения удобрений, контроля над орошением и др.

Следующая большая область исследований — селекция. Перед селекционной наукой стоит огромный вызов: нужно за 5–6 лет в 2 раза увеличить продуктивность зерновых культур с вы-

соким уровнем протеина. Мировые тенденции сейчас таковы, что при создании сортов и гибридов преобладает геномная селекция, в том числе генетическое "редактирование" растений. Это помогает осуществлять селекцию или выведение новых сортов с заданными свойствами. Не стоит забывать также о криосохранении семян с использованием цифровых технологий.

Большой опыт накоплен в сфере получения безвирусного посадочного материала, а также в системе биологической защиты культур, что позволяет снижать объём внесения химических удобрений. Наши учёные уже научились справляться и с новыми вредителями. Пример — нашествие коричнево-мраморных клопов, от которого в течение трёх лет страдал Юг России. Были разработаны средства химической и биологической борьбы с этими насекомыми.

Перспективным, прорывным исследованием может стать метагеномика. Возглавляет это направление академик И.А. Тихонович. Ресурс микробиома можно использовать для улучшения плодородия.

В животноводстве одна из главных проблем — потеря биоразнообразия. За счёт генетических технологий удаётся сохранить, во-первых, потенциал аборигенных пород, и во-вторых, выводить новые. В ветеринарии также создаются препараты на основе биологических субстанций, не связанные с антибиотиками.

В сфере переработки накоплен потенциал, который позволяет ежегодно вовлекать в глубокую переработку до 5—6 млн т зерна. Так же

перерабатываются другие культуры. Есть задел в области продления сроков хранения, особенно с помощью физических методов. В то же время проводятся работы по созданию таких замкнутых модулей, как фитотехнические комплексы, которые находят применение не только в средней полосе, но и в отдалённых регионах, в том числе в Арктике.

Если говорить о создании новых поколений сельскохозяйственной техники, то здесь упор должен быть сделан на роботизацию и автоматизацию. Мне очень приятно отметить, что в зале присутствуют коллеги из Уральского региона, которые разработали и уже провели ходовые испытания беспилотной сельскохозяйственной техники. НПО Автоматики им. Н.А. Семихатова вместе с Ростсельмашем создали комплекс для беспилотных комбайнов, и они уже проходят испытания. За этим направлением будущее, головной научной организацией является Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. Данные, полученные академиком В.И. Черноивановым, показывают, что при внедрении высокоточных технологий можно получить в разы больше урожая при меньших затратах на топливо и другие энергетические ресурсы.

Итак, были кратко представлены основные тенденции развития современной аграрной науки. Решение их возможно при объединении научного потенциала научных и отраслевых организаций, а также представителей реального сектора — сельского хозяйства.

SPEECH OF THE CHAIRMAN OF THE PRIORITY COUNCIL, THE RAS VICE-PRESIDENT, ACADEMICIAN OF THE RAS I.M. DONNIK

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: agriculture, agrarian science, chemical and biological protection, digital agriculture, monitoring, selection, processing, metagenomics, robotic application and automation.

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ

© 2019 г. А.Л. Иванов

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия

E-mail: info@esoil.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 11.02.2019 г.

Принята к публикации 18.02.2019 г.

Даётся оценка проекта "Цифровое землепользование", сформированного на платформе единой федеральной информационной системы земель сельскохозяйственного значения. Проект должен обеспечить создание и применение интеллектуальной системы планирования и оптимизации агроландшафтов. Рассматриваются причины, замедляющие развитие сельскохозяйственного производства, в том числе несовершенство земельного законодательства, отсутствие контроля за состоянием земель и инвентаризации почвенных ресурсов.

Ключевые слова: рациональное землепользование, цифровое землепользование, цифровое земледелие, адаптивно-ландшафтное земледелие, цифровое сельское хозяйство.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895522-524>

На собрании Отделения сельскохозяйственных наук РАН мы подробно обсудили содержание проекта "Цифровое землепользование". Сегодня следует поговорить о способах его реализации, обозначить его цели, выяснить, как он повлияет на качество принимаемых решений в сфере рационального землепользования на федеральном и региональном уровне.

Нет сомнений, что состоится информационная революция в агропромышленном комплексе в форме цифрового управления в агропроизводстве. В указе Президента РФ № 204 этот момент оговаривается особо. Десятую часть валового внутреннего продукта будут обеспечивать новые сектора экономики. Это, пожалуй, главный стимул и предпосылка организации эффективной работы. Надеюсь, информационную революцию не постигнет участь "зелёной" революции, которая миновала нашу страну. Она не будет сведена до страшилок в СМИ и соцсетях, как домыслы о ГМО. По сути, мы ещё серьёзно не приступили к решению биотехнологической трансгенной проблемы.

Для учёных, работающих в сфере рационального природо- и землепользования, важно свежее протокольное поручение заместителя председателя Правительства РФ А.В. Гордеева от 19 октября 2018 г.

ИВАНОВ Андрей Леонидович — академик РАН, директор Почвенного института им. В.В. Докучаева.

Получил региональное развитие проект "Цифровое землепользование", апробированный в Минсельхозе России на платформе единой федеральной информационной системы земель сельскохозяйственного значения и заслушанный на Совете по приоритетному направлению проекта "Об адаптивно-ландшафтном земледелии". Он многосложный, конкурентоспособный, востребованный бизнесом, картографически масштабированный, иерархически многоступенчатый (от министерства до землепользователя), обоснован с точки зрения необходимой инфраструктуры, спутниковых конфигураций, системы навигации и геолокации, регистра и других средств детектирования.

Многоуровневая подсистема "Цифровое земледелие" даёт возможность многовариантного преодоления генетически предопределённой пятнистости почвы, её неоднородности, мозаичности и прочих специфических особенностей за счёт проектов адаптивно-ландшафтного земледелия и агротехнологий.

Проект должен обеспечить создание и применение интеллектуальной системы планирования и оптимизации агроландшафта, использования земель сельскохозяйственного производства на разных уровнях — от отдельного поля до больших трансграничных территорий. Функционирует он на основе цифровых дистанционных и информационных технологий и компьютерного моделирования, состоит из разноуровневых блоков:

- сбор, актуализация и хранение данных;
- мониторинг состояния;
- многоцелевая оценка пригодности;
- моделирование потенциальной урожайности, её прогнозирование и планирование;
- размещение сельхозугодий;
- распределение производительных сил;
- проектирование ландшафтных систем земледелия, агротехнологий, программ обустройства села, кадастровой оценки и т. д.

Всё это обеспечит валидацию и демонстрацию возможностей стратегии на примере бизнес-и ряда функциональных проектов, создание сети компетенций по внедрению всего необходимого для её реализации.

Среди актуальных проблем выделяются следующие:

- неурегулированный доступ к данным дистанционного зондирования нужного типа;
- недостаточная разработанность алгоритма прикладного анализа, методов калибровки модели;
- отсутствие стационарной сети полигонов для сбора информации.

Подложка проекта идеально укладывается на информационную платформу Минсельхоза России, которая уже содержит сведения о 45 регионах. Создана методическая нормативно-правовая фактура, собран картографический архив почвенных данных, включающий 25 тыс. карт (8 Тбайт). Разумеется, это только основа совершенствования оценки качества почвенных земель, формирования и поддержания актуальности единого межведомственного информационного ресурса с целью обеспечения рационального использования и охраны земель сельскохозяйственного назначения и государственного регулирования. Вся работа должна быть высокоорганизованной, первостепенной и материально поддерживаться руководством страны.

В 2018 г. исполнилось 100 лет, как Почвенный институт им. В.В. Докучаева вошёл в состав Комиссии по изучению естественных производительных сил России (КЕПС), но актуальность сложившихся ранее традиций неизменна, они необходимы на современном этапе развития нашего государства. Поэтому к числу первостепенных фундаментальных исследовательских задач следует отнести развитие теории размещения производительных сил территориального планирования в ландшафтно-экологической системе стратегического планирования и проектирования сельскохозяйственных ландшафтов, включая водохозяйственные, мелиоративные, сельские, лесохозяйственные и др.

В рамках развития инфраструктуры стоят задачи гармонизации земледелия и животновод-

ства, формирования экологических каркасов территории. Земельное законодательство России по-прежнему усложнено и запутано. Оно регулируется указами Президента РФ, федеральными законами, постановлениями Правительства РФ, ведомственными нормативно-правовыми актами — это более 2 тыс. документов. При этом только действия с земельными участками затрагивают сотни федеральных законов. На региональном уровне имеется ещё 20 тыс. нормативно-правовых актов. Земельный кодекс изменялся 109 раз, законы и кадастры недвижимости — 49. 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. Россия едва ли не единственная страна в мире, где отсутствует инфраструктура управления землепользованием. Земельный баланс должным образом не составляется, земельно-ресурсный потенциал не поставлен полностью на государственный учёт и баланс предприятия. Налог собирается в лучшем случае на две трети. Обостряется проблема с земельными долями. Земельными отношениями занимаются 14 министерств и ведомств.

Самый острый вопрос — инвентаризация почвенных ресурсов. На землях сельскохозяйственного назначения возникло уникальное в мировой практике явление — крупные латифундии и ленд лорды. Они часто социально безответственны и оставляют после себя социально-демографические пустыни. Сведения о состоянии земель, статистика эффективности производства искажены, некорректны, недоступны для научного анализа. По-прежнему не воссозданы государственные земельные службы.

Работа над программой "Цифровое сельское хозяйство" в рамках НТП "Цифровая экономика" впервые после июльской коллегии 2008 г. открыла возможность создания паллиатива государственной земельной службы и важнейшей её составляющей — единого актуального информационного ресурса о землях сельскохозяйственного назначения — федеральной инновационной цифровой платформы под эгидой Минсельхоза России.

На первом этапе нужно создать управленческий научно-методический консорциум из структур Минсельхоза России, Минобрнауки, РАН и частично Росреестра России без изменения формы принадлежности и организационно-правовой формы, в который могут быть включены Департамент растениеводства и механизации защиты растений, центры химизации, информации, Аналитический центр Минсельхоза и ряд институтов Минобрнауки. Для создания кон-

курентоспособных наукоёмких агротехнологий необходимо выстроить систему научно-инновационного проектного обеспечения. Здесь также имеются в виду региональные институты бывшей Россельхозакадемии.

Давно назрела необходимость упорядочить структуры функционирования контрольных, карантинных, экономических и природоохранных служб. Примером рациональной организации

земельной службы может служить, в частности, Белгородская область. Её опыт достоин тиражирования.

Чрезвычайно важно восстановить в системе Государственной земельной службы Государственный институт земельных ресурсов, каким-то образом "потерявшийся" за годы реформ. Вот, пожалуй, те сверхзадачи, которые нам предстоит решить. Условия для этого пока благоприятные.

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF LAND USE WITH THE APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE

© 2019 A.L. Ivanov

Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

E-mail: info@esoil.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 11.02.2019

Accepted: 18.02.2019

The project "Digital Land Use" created on the platform of a unified federal information system for agricultural lands is assessed in the paper. The project should provide the creation and application of an intelligent system for planning and optimization of agricultural landscapes. The reasons which decelerate the development of agricultural production are considered. Among them are the following: the shortcomings of land legislation, the lack of control over the lands state and over the soil resources inventarization.

Keywords: rational land use, digital land use, adaptive landscape agriculture, digital agriculture.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ГУБЕРНАТОРА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА РАН Е.С. САВЧЕНКО

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: органическая продукция, состояние почв, биологизация земледелия, адаптивно-ландшафтные системы, продовольственная безопасность.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895525-526>

Перед учёными-аграрниками стоят очень серьёзные задачи, тем не менее при всём их многообразии нужно уделить пристальное внимание и сосредоточить свои интеллектуальные усилия на раскрытии такого, казалось бы, рядового и не очень значимого, но знакового федерального закона, каким является закон "О производстве органической продукции", который подписан Президентом РФ. Почему я так считаю? Потому что через этот закон можно выйти на решение других крайне актуальных проблем в сельском хозяйстве и на сельских территориях в целом. В этой связи позвольте остановиться на нескольких моментах.

Во-первых, состояние российских почв. Конечно же, оно удручающее, о чём уже упомянул академик А.Л. Иванов. Их плодородие падает — это главная проблема. Но без экологически чистой, с постоянно прирастающим естественным плодородием почвы вообще нельзя вести разговор о производстве органической продукции. Привести наши почвы в порядок можно только путём биологизации земледелия и освоения адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Сошлюсь на наш скромный опыт. Восемь лет назад была принята Программа биологизации земледелия Белгородской области, которая предусматривает:

- широкое применение многолетних трав, особенно на склоновых землях;
- обязательные пожнивные посевы;
- внесение всех пожнивных остатков в почву или оставление их на поверхности (это касается и соломы, и органических удобрений);
- залужение промоин и водотоков;
- отказ от глубокой обработки почвы и переход на минимальную (нулевую) обработку, сегодня в области уже 28% всей пашни возделывается по технологии "ноу-тилл";
- известкование кислых почв;
- умеренное и адресное внесение минеральных удобрений и пестицидов, в том числе с применением цифровых технологий;

- расширение посевов бобовых культур, прежде всего сои, и накопление таким образом биологического азота в почве.

Какие результаты мы получили? На каждый гектар пашни возвращается 6 т органического вещества в сухом виде, а вынос с урожаем в среднем составляет 5 т с га. Количество гумуса увеличивается. Есть поля с прибавкой содержания гумуса от 0,1 до 0,3%. В результате урожайность повысилась в 1,5–2 раза, прибыль в настоящее время превышает 10 тыс. руб. с га. Поэтому надо сформулировать и инициировать федеральный закон о биологизации земледелия и освоении адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

Во-вторых, меня волнует вопрос о том, кого должно поддерживать наше государство — агрохолдинги и прочие крупные хозяйства, которые сегодня на 80% и более являются потребителями финансовых ресурсов государства? Я считаю, что свою историческую роль они уже сыграли, обеспечили продовольственную безопасность. Сейчас, если их в чём-то и поддерживать, то в софинансировании со стороны государства крупных научных исследований. Я предложил бы механизм по схеме 50 на 50: можно ежегодно направлять на инновации от 100 до 150 млрд руб. Из чего я исхожу, когда говорю о такой цифре? Даже в условиях 2018 г. (казалось бы, не самого благоприятного) прибыль крупных сельскохозяйственных предприятий, агрохолдингов и прочих компаний составит не менее 300 млрд руб. Если 50% направить на инновации, а ещё столько же получить от государства, представляете, какой огромный ресурс мог бы быть направлен на НИОКР! Естественно, оказались бы задействованы и подразделения Российской академии наук. А господдержку необходимо сосредоточить на развитии малых форм сельского хозяйства, прежде всего семейных. Надо поддержать и сельский образ жизни, для чего всем, кто пожелает жить и работать на селе, выдавать "длинные" дешёвые кредиты до 10 млн руб. на строительство и обустройство собственного дома. А если по-

ставить возврат данного кредита в зависимость от наличия детей в семье, то можно создать хороший стимул для решения демографических проблем. Давайте не забывать, что русский этнос сегодня сокращается со скоростью примерно 300–400 тыс. человек ежегодно. Это главная геополитическая проблема для нашей страны. В этой связи я предлагаю осваивать залежные земли (а у нас их примерно 50 млн га, и они находятся в основном в регионах с русским населением) не за счёт крупных холдингов и ферм, а с помощью мелких форм хозяйствования с привлечением государственной поддержки. Можно разработать специальную программу и организовать несколько миллионов таких семейных ферм. Это проект, который по своей значимости вполне сопоставим с освоением целины в советский период.

Таким образом, представляется возможным создать новый экономический уклад на селе, так называемое рекреационное сельское хозяйство, которое выступит не альтернативой крупному

индустриальному производству, а существенным его дополнением, и может стать главным производителем экологически чистой органической продукции. Поэтому предлагаю учёным РАН разработать экономическую, организационную и социальную модель рекреационного сельского хозяйства — главного производителя органических продуктов и одновременно поставщика рекреационных услуг.

В-третьих, предлагаю вышесказанное закрепить принятием федеральной программы "Развитие сельских территорий", дополнить существующие 12 национальных проектов 13-м проектом по развитию сельских территорий страны. Став на путь реализации этих направлений, через 5–10 лет мы создадим новый сельский ландшафт, привлекательный не только для сельчан, но и для горожан, ибо, в моём понимании, не мегаполисы или агломерации должны определять градостроительный ландшафт России, а многочисленные сельские поселения с зажиточными крестьянскими хозяйствами.

SPEECH OF THE GOVERNOR OF THE BELGOROD REGION, THE CORRESPONDING MEMBER OF THE RAS E.S. SAVCHENKO

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: organic products, soil condition, biologization of agronomy, adaptive landscape systems, food security.

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЕ РАСТЕНИЕВОДСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРОДУКЦИИ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА

© 2019 г. И.В. Савченко

*Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений,
Москва, Россия*

E-mail: vilarnii@mail.ru

Поступила в редакцию 27.11.2018 г.
Поступила после доработки 27.11.2018 г.
Принята к публикации 23.01.2019 г.

Основным приоритетом научно-технологического развития России в области растениеводства становится высокопродуктивное экологически чистое агрохозяйство, основанное на цифровых интеллектуальных технологиях. Для этих целей учёные вывели высокопродуктивные сорта и гибриды сельскохозяйственных и лекарственных растений с хорошими экологическими показателями, адаптированные к различным экологическим условиям, а также разработали технологии их возделывания.

Ключевые слова: растениеводство, генетические ресурсы, цифровые технологии, урожайность, лекарственные растения.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895527-531>

В ближайшие 10–15 лет в соответствии со Стратегией научно-технологического развития РФ (указ Президента РФ № 642 от 01.12.2016 г.) приоритетами развития в области растениеводства признаны: переход к передовым цифровым интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам обработки больших объёмов данных, высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству; разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений.

Что такое цифровые технологии в растениеводстве и защите растений? Это комплекс эмпирических показателей, характеризующих биологическую сущность объекта (сюда относятся различные базы и банки данных, в том числе и в сфере технологий), их кодировка, создание на основе этого цифровой копии (в том числе 3D-модели объекта) и включение её в информационную систему, что в целом повысит эффективность, качество и оперативность принятия решений по изучаемому предмету. Накоплен огромный эмпирический опыт по культурным растениям и агрофитоценозам, который необходимо осмыслить с позиций современных цифровых технологий.

Российские институты (Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова — ВИР, ВНИИ лекарственных и ароматических растений — ВИЛАР, ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса — ВИК, Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства — ВСТИСП и др.) ежегодно организуют 20–26 экспедиций по сбору генетических ресурсов. В результате 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, более 50 тыс. образцов хранятся в институтах сельскохозяйственного профиля. В ВИЛАРе имеется живая коллекция из 1276 видов лекарственных и ароматических растений, а в оранжерейно-тепличном комплексе исследуются 387 видов тропической и субтропической флоры. Для более полного доступа к этой мировой сокровищнице необходима оцифровка всего имеющегося материала. В ВИРе, ВИЛАРе, ВИКе собраны гербарные коллекции растений. Оцифровка и представление отсканированных образцов в Интернете в разы расширяет доступ пользователей к гербариям. Эффективное использование оцифрованных фондов гербария и коллекций позволяет навести порядок в систематизации растений, а также решать задачи фи-

САВЧЕНКО Иван Васильевич — академик РАН, главный научный сотрудник ФГБНУ ВИЛАР.

Таблица 1. Продуктивность сорго сахарного

Сорт	Урожайность, т/га		Выход сока, т/га	Содержание сахара в соке стеблей, %	Выход сахара, т/га
	зелёной массы	сырых стеблей			
Дебют	35	24,5	19,6	15	2,94
Лиственит	42	29	23,2	12	3,02
Южное	40	28	22,4	13	2,91

логенетики, флористики, ареалов произрастания растений.

Проводится 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 (КНИИСХ, ВНИИ риса, ВСТИСП, ВНИИСХБ, ВИЗР, ВНИИФ, ВНИИБЗР и др.). На основе генофонда с использованием современных методов молекулярной селекции отечественные селекционеры ежегодно создают 260–300 сортов и гибридов культурных растений. Так, только в 2017 г. выведено 295 адаптивных, высококачественных сортов и гибридов, выделено 387 доноров и более 3 тыс. ценных генетических источников, разработано более 50 агротехнологий возделывания культур [1]. Для более полного доступа к этому материалу также необходима его оцифровка.

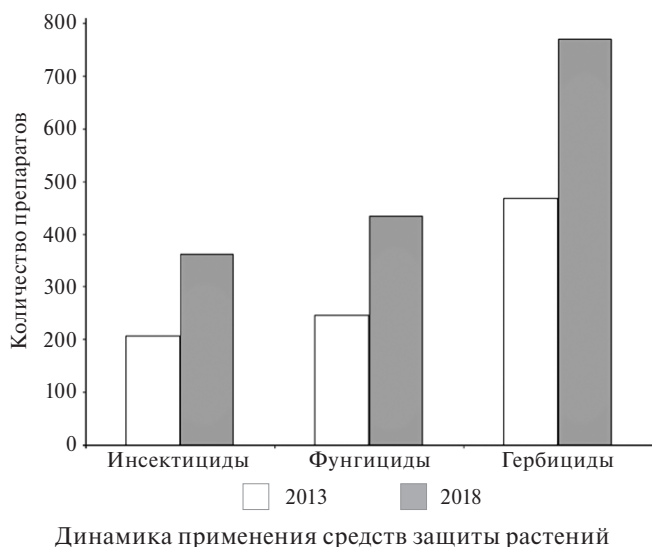
Создание современных адаптированных сортов сельскохозяйственных культур — наиболее ресурсосберегающий путь [2]. Так, сорт озимой пшеницы Алексеич Краснодарского НИИСХ им. П. П. Лукьяненко возделывался в 2018 г. в Краснодарском крае на площади 38,5 тыс. га. Сорт среднеспелый, полукарликовый, устойчив к засухе, бурой, жёлтой, стеблевой ржавчине, мучнистой росе, морозостойкость выше сред-

ней. В совхозе "Казьминский" Ставропольского края с площади 1547 га собран урожай 10,6 т/га, качество зерна не ниже третьего класса. Зерно, полученное с площадей, занятых этим сортом в России в 2017–2018 гг., оценивается в 3,3 млрд руб. (затраты на создания сорта — 21,3 млн руб.).

Один из дискуссионных вопросов в растениеводстве — введение в культуру новых растений. В своё время был широко разрекламирован борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden). Сейчас активно продвигается злак мискантус (*Miscanthus*). Но ведь есть ряд уже изученных, очень перспективных культур, которые слабо внедрены в практику, хотя отличаются высокими биологическими и хозяйственными показателями. К их числу относится сорго, способное произрастать в условиях аридного и гумидного климата. Созданы сорта сорго, которые можно использовать для пищевых и кормовых целей, получения спирта, сахара и биоэтанола [3, 4]. Выведены раннеспелые (период вегетации "всходы — полевая спелость зерна" — 90–95 дней), белозёрные, низкотаниновые, обладающие высокой потенциальной урожайностью (до 8,5 т/га) сорта сорго зернового, которые можно использовать не только в качестве корма, но и как сырьё для перерабатывающей промышленности (сорта Зеленоградское 88, Великан, Атаман). Созданы раннеспелые сорта сорго зернового (Дебют, Южное) с вегетационным периодом 104–106 дней, позволяющие получать урожай зелёной массы на силос 35–40 т/га, абсолютно сухого вещества — 12–14 т/га с содержанием сахаров в соке стеблей до 15% (табл. 1).

Разработаны технические средства мониторинга для прогноза опасных фитосанитарных ситуаций и организации эффективной защиты растений. Совершенствуется российский ассортимент средств защиты, разрабатываются уникальные препараты.

Сегодня разрешено использовать 1743 пестицида, в том числе 362 инсектицида, 434 фунгицида, 770 гербицидов и др. (рис.). Ежегодные разработки с целью перехода к производству экологически чистой агропродукции позволяют увеличивать ассортимент биопрепаратов — сейчас их 58 (против 39 в 2014 г.). Разработаны фундамен-



тальные 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.

Изучение взаимодействия генотип–среда занимает одно из центральных мест в развитии теории адаптивной селекции, поскольку такие связи сложны по характеру и степени проявления. Член-корреспондент РАН А.И. Прянишников [5] на примере выведения сортов озимой пшеницы показал, что эффективность отбора предопределяется как селективным фоном, так и совокупностью естественных сред, способствующих оценке генотип-средового компонента вдоль экологического вектора, создаваемого системой мультилокационных испытаний. Кластерный анализ урожайности позволил определить характер реализации продуктивных свойств и выделить группы с высокими показателями. В подобных исследованиях необходимы цифровые технологии.

Российские гибриды сахарной свёклы при сравнительном сортоиспытании оказываются продуктивнее зарубежных аналогов, особенно по сахаристости, и превышают стандарты на 10% (табл. 2). По устойчивости к почвенным патогенам и длительности хранения российские гибри-

ды значительно превосходят зарубежные. Необходимо налаживать отечественное семеноводство сахарной свёклы, но это вопрос уже организационного характера и должен решаться с участием селекционеров.

Актуальным остаётся получение продукции садоводства и виноградарства высокого качества [6]. Заданные качества урожая – необходимое требование для обеспечения конкурентоспособности продукции. Сравнительная оценка плодов импортного и отечественного производства по показателям безопасности, в частности, наличию тяжёлых металлов (табл. 3), выявила следующее: плоды отечественного производства содержат значительно меньше свинца, цинка и других элементов, что свидетельствует о возделывании иммунных или высокоустойчивых к болезням и вредителям сортов. В этом большая заслуга селекционеров и фитопатологов.

Сравнение плодов импортного и отечественного производства южных и центральных регионов 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, антиоксиданты – в 2–4 раза и т. д.). В средней полосе в сортах российской селекции содержание био-

Таблица 2. Продуктивность современного гибрида сахарной свёклы РМС-129 (сезон 2017 г.)

Наименование участка и стандарта при проведении государственных сортоиспытаний	Урожайность, ц/га		Сахаристость, ц/га	
	стандарт	РМС-129	стандарт	РМС-129
Нижегородский (Лада, Россия)	729	655	16,7	17,2
Орловский (Алёна, КВС)	625	688	16,6	17,6
Краснодарский (Агрипина, КВС)	717	770	20	23,2
Ростовский (Агрипина, КВС)	774	866	18,1	17,7
Татарский (Манон, СЕС)	705	717	17,5	18,2
Среднее	710	739	17,8	18,8

Таблица 3. Содержание тяжёлых металлов в образцах фруктов

Образец	Исследуемые металлы, мг/кг сырой массы				
	Pb	Zn	Fe	Cu	Ni
	Норма ПДК, мкг/кг сырой массы				
	0,4	10	50	5	0,5
Яблоки импортные окрашенные (кожица)	0,39	26,58	2,728	0,900	0,209
Яблоки импортные зелёные (кожица)	0,094	3,992	1,303	1,170	0,046
Яблоки сортов селекции СКЗНИИСиб прикубанское	0,051	2,95	0,67	0,215	0,03
ренет кубанский	0,023	2,74	1,17	0,117	0,05

логически активных веществ в ягодах земляники (витамин С, Р-активные вещества) и их высокие антиоксидантные свойства выше по сравнению с зарубежными [7].

Разработана бесшпалерная технология выращивания яблони, что обеспечивает снижение издержек капитального характера (на закладку и уход до вступления в плодоношение) на 448,8 тыс. руб./га, или 40,6%, сокращение текущих издержек на производстве на 11,5%, наблюдается рост рентабельности продукции.

В отечественной селекции масличных растений прослеживается принципиально новый этап, заключающийся в расширении видовых пределов наследственной изменчивости состава жирных кислот семян. Так, помимо традиционных сортов и гибридов масличного направления, во ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта созданы высокоолеиновые сорта и гибриды подсолнечника с повышенным содержанием β - и γ -токоферолов, с высокой окислительной стабильностью масла. Масло востребовано фармацевтической промышленностью и во фритюрном производстве.

Селекционеры совместно с биохимиками создали сорта рапса с высоким содержанием олеиновой кислоты (75% — в яровых формах, 80% — в озимых). Увеличение доли рапса в структуре севооборота рапсосоющих регионов позволит увеличить урожайность зерновых культур не менее чем на 10–15% и ежегодно дополнительно получать 350–400 тыс. т зерна. В зонах рискованного земледелия целесообразно увеличение посевных площадей рыжика (масличная культура).

Во ВНИИ сои совместно с Объединённым институтом высоких температур РАН разработана экологически чистая технология предпосевной обработки семян сои низкотемпературной аргонной плазмой, которая активизирует выход семян из состояния покоя даже при низких положительных температурах почвы, приводит к увеличению всхожести и силы роста, даёт 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.

Овощеводы вывели сорта и гибриды, устойчивые к наиболее вредоносным патогенам. Разработаны ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства продукции высокого качества [8]. Созданы сорта и гибриды капусты брокколи Спарта с высоким содержанием биологически активных веществ, физалиса Оранжевый жемчуг с высоким содержанием пектинов и сахаров, перца паприки Кармин, перца

острого Рождественский букет и Самоцвет с оптимальным сочетанием капсантина и капсарубина, томата Осенняя рапсодия с высоким содержанием β -каротина для диетического питания.

При конструировании адаптивных агроэкосистем и агроландшафтов наиболее перспективен эволюционно-аналоговый подход. Так, изучая генетическое разнообразие галофитов [9], член-корреспондент РАН З.Ш. Шамсутдинов создал 19 сортов галофитных растений (джузгун, камфоросма, кейреук, прутняк, терескен). На основе этого генетического разнообразия в аридных регионах России сформированы весенне-летние и осенне-зимние пастбищные экосистемы, что способствует повышению продуктивности пастбищ с 0,3 до 2,5 т/га сухой кормовой массы, восстанавливается биоразнообразие сильнодеградированных ландшафтов, овцеёмкость пастбищ увеличивается в 3 раза.

По данным экспертов, в России 20–30 млн га бывших сельскохозяйственных угодий не используется по прямому назначению и деградируют. С целью диверсификации сельского хозяйства целесообразно использовать заброшенные пашни под выращивание лекарственных растений. В ВИЛАРе выведено более 90 сортов многолетних и однолетних лекарственных трав [10] для различных природных зон с разной жизненной стратегией из следующих видов: мята перечная (*Mentha 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.).

Из районированных сортов 29 — однолетники, 43 — многолетники и 13 — кустарники. Подбор культур может осуществляться для любых местобитаний, что будет способствовать не только увеличению сбора ценного лекарственного сырья, но и прекращению деградации земельных угодий.

Академик И.С. Шатилов по всей стране провёл оригинальные исследования по программированию урожаев сельскохозяйственных культур, основанные на длительных балансовых полевых опытах, но, к сожалению, они были свёрнуты. На наш взгляд, к ним следует вернуться и научно обоснованно планировать урожай культур на современном уровне с помощью цифровых технологий.

Растительность чутко реагирует на изменение экологических показателей. Исходя из этого положения, советский ботаник и эколог Л.Г. Раменский разработал экологические шкалы растений по отношению к увлажнению (120 ступеней), богатству и засолённости почвы (30 ступеней), пастбищной депрессии (10 ступеней), высотности (15 ступеней), переменной увлажнённости (20 ступеней), аллювиальности (10 ступеней). В основном шкалы предназначены для кормовых растений [11]. Следует продолжить эти работы, так как они вписываются в понятие цифровых технологий и позволяют создать копию растения в зависимости от экологических факторов.

Целесообразно направить усилия учёных-растениеводов и их коллег, работающих в сфере защиты растений, на сохранение богатого генетического потенциала растений, мобилизацию их биоразнообразия в целях решения проблем здорового питания и эволюционно-аналоговой регенерации среды обитания человека для перехода к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству, улучшения качества и продолжительности жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчёт Отделения сельскохозяйственных наук РАН о выполнении фундаментальных и поисковых научных исследований в 2017 году. М.: ОСХН РАН, 2018.
2. Беспалова Л.А. Развитие генофонда как главный фактор третьей зелёной революции в селекции пшеницы // Вестник РАН. 2015. № 1. С. 9–11.
3. Алабушев А.В., Ковтунов В.В., Лушпина О.А. Сорго зерновое — перспективное сырьё для производства крахмала // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 7. С. 64–66.
4. Алабушев А.В., Ковтунова Н.А. и др. Основные факторы повышения урожайности и качества зелёной массы сорго // Успехи современного естествознания. 2017. № 6. С. 50–55.
5. Прянишников А.И. Научные основы адаптивной селекции в Поволжье. М.: РАН, 2018.
6. Егоров Е.А., Ерёмин Г.В. и др. Современные методологические аспекты организации селекционного процесса в садоводстве и виноградарстве. Краснодар: СКЗНИИСиВ, 2012.
7. Куликов И.М., Марченко Л.М. Значение генетических коллекций плодовых культур для инновационного развития отрасли // Вестник РАН. 2015. № 1. С. 15–18.
8. Пивоваров В.Ф. Генетические ресурсы овощных растений // Вестник РАН. 2015. № 1. С. 23–25.
9. Шамсутдинов З.Ш., Савченко И.В., Шамсутдинов Н.З. Галофиты России, их экологическая оценка и использование. М.: Эдель-М, 2000.
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. Научные основы эффективности и безопасности лекарственных средств. М.: РАН, 2015. 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.

ECOLOGY SAFETY CROP PRODUCTION FOR OBTAINING HIGH-QUALITY PRODUCTS

© 2019 I.V. Savchenko

Russian State Medicinal and Aromatic Plants Research Institute, Moscow, Russia

E-mail: vilarnii@mail.ru

Received: 27.11.2018

Revised version received: 27.11.2018

Accepted: 23.01.2019

The author considers the development priorities of crop production in Russia. Highly productive and ecologically safe crop production, based on the information technologies is the main priority of scientific development of Russia. In order to achieve this aim scientists constructed high productive and ecology safety kinds and hybrids of agricultural, medicinal plants, plant protection and cultivation technologies. These plants have tolerance to different climate conditions.

Keywords: crop production, genetic resources of plants, information technologies, harvesting, medicinal plants.

ВЫСОКОПРОДУКТИВНОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЕ ЖИВОТНОВОДСТВО И АКВАКУЛЬТУРА С ЗАДАННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

© 2019 г. В.В. Калашников

Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства, Рязань, Россия

E-mail: vniik08@mail.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 15.02.2019 г.

Принята к публикации 18.02.2019 г.

В статье отражены важнейшие шаги на пути развития отечественного животноводства и аквакультуры, предполагающие производство экологически чистой продукции с заданными качествами. Рассмотрены методы повышения темпов селекции животных и аквакультуры с помощью новейших технологий и с использованием современных интеллектуальных систем. Отмечен переход к системе нормированного питания и управления продуктивностью животных. Показаны мобилизация экспортного ресурса отечественного животноводства, проблема сохранения биологических ресурсов и длительного хранения репродуктивного материала сельскохозяйственных животных и их диких предков. Отражены вопросы актуальности развития геномных технологий и биологизации средств защиты животных, птицы и объектов аквакультуры.

Ключевые слова: животноводство, продуктивность, селекция, кормление, гибридизация, биотехнология, геномные технологии.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895532-535>

Сегодня по производству некоторых видов мяса Россия достигла дореформенного уровня (а это наш ориентир) и входит в десятку мировых лидеров. По общему объёму производства сырого молока с учётом личных подсобных хозяйств мы также в Топ-10. В последнее десятилетие на фоне сокращения численности поголовья существенно улучшен генетический потенциал всех видов сельскохозяйственных животных, в том числе птиц, рыб и насекомых. Идёт мобилизация экспортного ресурса отечественного животноводства.

К сожалению, только 30% населения России имеет финансовую возможность потреблять животноводческую продукцию в соответствии с медицинскими нормами. С учётом этого фактора и международных экспертных оценок системы питания наша страна занимает в мировых рейтингах только 43 место по индексу продовольственной безопасности.

В арсенале средств управления продуктивностью сельскохозяйственных животных в отечественной и мировой практике зоотехнии с разной степенью эффективности традицион-

но используются три главных ресурса: селекция, кормление, технологии. Современное животноводство на протяжении веков создавалось селекционными методами путём искусственного отбора и подбора в поколениях на фоне оптимизации условий кормления и содержания животных. Оно однородно и чётко структурировано по породам, типам, линиям и фенотипически (то есть по внешним признакам).

Как правило, современные российские показатели рекордной продуктивности по видам животных и массовой продуктивности товарных стад отстают от мировых лидеров примерно на треть. В частности, в свиноводстве самая многочисленная отечественная порода — крупная белая — уступает всем зарубежным породам по трём важным селекционируемым признакам: толщине шпика, выходу мышечной ткани и конверсии корма. Не выдерживает она конкуренции и по такому лимитирующему технологическому свойству мяса, как площадь мышечного глазка (площадь поперечного разреза широчайшей мышцы спины).

Радикальным методом повышения темпов селекции животных по главным признакам считается скрещивание с зарубежными породами-улучшателями. Этот метод сегодня широко

КАЛАШНИКОВ Валерий Васильевич — академик РАН, научный руководитель ВНИИК.

используется в отечественных программах разведения практически всех видов сельскохозяйственных животных, в первую очередь свиней и крупного рогатого скота. С использованием генотипа голштинского молочного скота и зарубежных мясных пород в последние десятилетия были созданы новые высокопродуктивные отечественные породы и типы в скотоводстве. Например, Ленинградский тип молочных коров, произведённый от чёрно-пёстрого отечественного скота и голштинских быков-производителей зарубежной селекции, не уступает по продуктивности европейским аналогам.

Другой метод селекции — межвидовая гибридизация, используемая в крупном скотоводстве, овцеводстве и козоводстве. На многочисленных опытах показано, что гибриды по энергии роста превосходят исходных домашних животных в 2 и более раз, при этом дают более полноценное мясо и обладают повышенной резистентностью. Так, созданы крупные стада улучшенных животных в Ленинградской, Ярославской, Тульской, Рязанской и других областях, а также краях. В научных центрах и отраслевых институтах сформированы и пополняются коллекции используемого в системах гибридизации генетического материала различных видов домашних животных и их диких сородичей.

С учётом возможности использования конкурентных преимуществ наших обширных природных территорий в совершенствовании пастбищного животноводства особую значимость приобретает развитие биотехнологии взятия, длительного хранения и широкого применения репродуктивного материала диких животных. Самая представительная коллекция, используемая для сохранения животного биоразнообразия и гибридизации, сформирована во ВНИИ животноводства им. Л. К. Эрнста (ВИЖ). Всё же для ускорения совершенствования животных в соответствии с требованиями приоритета Стратегии научно-технологического развития РФ по направлению сельского хозяйства недостаточно традиционных видов селекции, кормления и технологии. На первое место выдвигаются генетические методы, способные радикально обозначить полиморфизм и генотипы животных, скрытые под стандартными фенотипами, сформированными вековой селекцией. Использование геномных методов при оценке производителей по качеству потомства обеспечивает повышение точности прогноза на 50% и более и, соответственно, вдвое уменьшает интервалы смены поколений, что важно для радикального ускорения темпов селекции животных.

С помощью геномной оценки животных в программах разведения по разным признакам

ускоряются темпы селекции в интервале от 20 до 150%. Развитие геномных технологий и исследования репродуктивных клеток в пробирке открывают фантастические возможности ускорения генетического прогресса для медленно растущих животных. Технически это возможно и сегодня. В ВИЖе совместно с другими организациями реализуется ряд исследовательских проектов в этом направлении. Разработан формат, осуществляется экспериментальная часть по созданию национальной системы геномной оценки племенной ценности быков-производителей молочных пород.

Начаты комплексные экспериментальные исследования на базе Селекционно-гибридного центра по свиноводству в Воронежской области, что позволит создать технологию управления формированием заданных параметров качества продукции, эффективную систему гибридизации и новые формы животных российской селекции с мировым уровнем продуктивности. Группа научных учреждений подготовила крупную совместную программу научных исследований с международным участием по изучению механизмов генетической детерминации признаков во всех значимых видах отечественного животноводства и птицеводства с последующей корректировкой программ их разведения.

Кроме того, ВИЖ ведёт генетическое картирование при межпородном скрещивании в овцеводстве с целью создания в дочерних поколениях модельных животных, сочетающих заданные признаки. В данном эксперименте на уровне генома совмещаются желательные признаки русской романовской и американской мясной пород.

Важным звеном генетической модернизации массива племенных животных и трансформации товарных стад является использование в селекционном процессе цифровых технологий и системы обработки данных с использованием разработанных для разных видов животных программ по системе "Селэкс".

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН ведёт разработки интеллектуальных средств и программ сбора данных об экстерьере, конституции, кормовом поведении животных, обеспечивающих перевод на цифровой язык многомиллионных ежегодных экспертных оценок фенотипических качеств животных. Биотехнологические методы, используемые в воспроизводстве сельскохозяйственных животных, позволяют тиражировать ценные генотипы с многократным ускорением.

Коротко поговорим о питании животных как факторе прижизненного формирования заданных качеств продукции. Нашими иссле-

дователями в ходе многочисленных опытов на сложноперирированных животных выявлены пути метаболизма нутриентов в процессе обмена в организме, что дало чёткое представление об энергозатратах на производство различных видов продукции самими животными при жизни. Это важный шаг на пути к системе нормированного питания с целью управления продуктивностью животных.

Во Всероссийском научно-исследовательском и технологическом институте птицеводства РАН на фистулированной (фистула — искусственно созданное отверстие в теле) птице получены важные экспериментальные результаты, указывающие на значительные возможности регулирования прижизненного формирования качества продукции рационом питания птицы.

Группа институтов проводит исследования содержания в биологических жидкостях, тканях, органах, волосе животных эссенциальных (жизненно необходимых) химических элементов, составляющих основу элементного состава организма, с целью оценки влияния их минимума, максимума и оптимума на продуктивные качества и жизнеспособность животных. Показано, что уровень накопления элементов в структуре волос пастбищных животных соотносится с характеристиками биогеохимических провинций¹ в стране, что особо значимо для производства функциональной продукции, богатой важными для человека элементами.

Установлена чёткая зависимость спортивного класса чистокровных верховых лошадей от содержания химических элементов в их организме в условиях максимального физиологического напряжения в период соревнований. Экспериментально доказано, что победитель главной скачки на Центральном московском ипподроме на приз Президента РФ в 2018 г. жеребец Конард Лорд, выращенный на Кубани, в сравнении с соперниками имел в организме самый профицитный баланс всех изученных элементов.

Ветеринарные способы защиты здоровья животных и качества продукции развиваются в стране в соответствии с результатами мониторинга эпизоотической ситуации и правилами ветеринарной и биобезопасности. Есть сведения, что более 50% лекарственных препаратов, выпускаемых в мире, используется именно в животноводстве. Но в рамках получения безопасной продукции в ходе производственных циклов в животноводстве наиболее проблемная ситуация складывается с применением кормовых

антибиотиков, стимуляторов и лечебно-профилактических средств, без использования которых современное животноводство, особенно промышленное свиноводство и птицеводство, функционировать не может. В этой связи актуальна биологизация средств ветеринарной защиты. Магистральное направление на этом пути — преодоление антибиотикорезистентности вирулентных микроорганизмов, приобретённой при постоянном использовании антимикробных лечебных и профилактических препаратов при производстве животноводческой продукции, что прямо связано с безопасностью полученных продуктов для человека.

В ФНЦ биологических систем и агротехнологий РАН разработана панель бактериальных биосенсоров, позволяющих детектировать сигнальные молекулы возбудителей заболеваний. Созданы ингибиторы активности микроорганизмов, в том числе искусственно синтезированные, помогающие значительно повышать порог вирулентности микробиоты.

Затронем вопрос об аквакультуре. В сегменте экологической пирамиды, построенной по принципу хищник—жертва, человек находится на самом верху и выбирает в основном верхний горизонт, базирующийся на стагнирующих объёмах вылова промысловых рыб. Нижние эшелоны этой пирамиды — простейшие, моллюски, водоросли и т. д. — практически не освоены. В сравнении с мировыми показателями у нас используется мизерная доля продуктов аквакультуры — 3,4% общего объёма рыбного потребления. В основном это три-четыре вида известных рыб: карпы, растительноядные, сиговые, лососёвые.

Институты РАН, связанные с рыбной отраслью, подготовили крупный проект, в задачу которого входит повышение эффективности функционирования рыбного хозяйства и всей аквакультуры России. К слову, рыба обладает самой высокой конверсионной способностью по сравнению с другими животными и птицей, хорошо отзывается на кормовой фактор, что очень важно для регулирования продуктивности. В ходе исследований апробированы многочисленные методы управления формированием пола у рыб, что имеет огромное экономическое значение в связи с гендерной разницей в интенсивности роста самцов и самок и индуцированием ценнейшего продукта — икры.

Из успехов селекции следует обратить внимание на гибриды, например, белуги и осетра, позволившие сохранить от технологического уничтожения в погоне за чёрной икрой популяции особо ценных осетровых рыб. Установлены возможности применения биохимических тестов для управления интенсивностью селекции но-

¹ Биогеохимическая провинция — область на поверхности Земли, отличающаяся содержанием химических элементов в почвах, воде и других средах.

вых пород карпов. Для развития отечественного аквакультуры в соответствии с приоритетом стратегии наши учёные приступили к изучению возможностей использования разнообразных объектов аквакультуры, таких как мидии, трепанги, кефали, треска, камбала-калкан, пресноводные формы гольца и других, в том числе

сокращающихся в природной среде, например, семейства речных раков европейского подсемейства Astacinae. Актуальным направлением в сфере аквакультуры остаётся развитие технологий комплексной и безотходной переработки морских гидробионтов (морских ежей, камчатских крабов и др.).

HIGHLY PRODUCTIVE, ENVIRONMENTALLY PURE LIVESTOCK AND AQUACULTURE WITH GIVEN INDICATORS OF PRODUCT QUALITY

© 2019 V.V. Kalashnikov

The All-Russian Research Institute for Horse Breeding, Ryazan, Russia

E-mail: vniik08@mail.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 15.02.2019

Accepted: 18.02.2019

The article reports the most important steps toward the development of domestic livestock and aquaculture, involving the production of environmentally-friendly products with desired qualities. Methods for increasing the rate of animal breeding and aquaculture with the latest technologies using modern intellectual systems are considered. The most important steps on the way to a system of normalized nutrition and animal productivity management are discussed. It is shown that the mobilization of the export resource of domestic livestock, the problem of the preservation of biological resources and long-term storage of reproductive material of wild animals. The issues of the relevance of the development of genomic technologies and the biologization of the means of protecting animals, poultry and aquaculture are reports.

Keywords: animal husbandry, productivity, selection, feeding, hybridization, biotechnology, genomic technologies.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СРЕДСТВА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

© 2019 г. А.Ю. Измайлов

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

E-mail: vim@vim.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 11.02.2019 г.

Принята к публикации 18.02.2019 г.

Чтобы резко увеличить объёмы производства, нужно внедрять цифровые интеллектуальные технологии. С их помощью можно добиться значительного роста производительности труда и урожайности культур, снизить энергетические и материальные затраты. Цифровые машинные технологии следует применять в растениеводстве, животноводстве, энергетике, хранении и переработке сельскохозяйственной продукции. Кроме того, необходима комплексная система управления аграрными предприятиями, которая позволит обеспечить своевременное и правильное выполнение задач.

В цифровых машинах и агротехнологиях выделяются четыре главных направления: мониторинг условий и параметров процессов; передача и хранение информации; искусственный интеллект и облачные технологии; реализация управленческих решений роботизированными техническими средствами. Основные объекты мониторинга — почвы, растения, животные, погодные-климатические условия, технические средства и технологические процессы. Различные средства мониторинга передают данные в режиме реального времени на облачную платформу, а искусственный интеллект на их базе оптимизирует технологические операции и даёт команду исполнительным механизмам.

Ключевые слова: сельское хозяйство, экспорт, энергетика, цифровые интеллектуальные технологии, средства мониторинга, роботизированные средства, беспилотные летательные аппараты.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895536-538>

В октябре 2018 г. на совещании в Ставрополе Президент страны отметил, что сельскохозяйственный экспорт в 2017 г. составил 20 млрд долл., то есть на 25% больше, чем экспорт российских вооружений. Отмечу, что Голландия, имеющая сельхозугодий в 80 раз меньше, чем Российская Федерация, экспортирует сельскохозяйственной продукции на 102 млрд долл. Эта сумма примерно равна российскому экспорту нефти и газа. Россия имеет огромный земельный и природный потенциал, позволяющий многократно увеличить производство разнообразной сельскохозяйственной продукции, а экспорт поднять до 400 млрд долл. в год, что многократно превысит экспорт нефти, газа и вооружений.

Сегодня к числу проблем в сфере сельскохозяйственного производства относятся производительность работ и урожайность культур. Усложняют ситуацию существенные потери при уборке, транспортировке и хранении продукции — порой до 40%. Необходимое условие

резкого увеличения объёмов производства — внедрение цифровых интеллектуальных технологий. Именно по этому направлению должны проводиться научные исследования и разработки. С использованием цифровых технологий мы можем добиться роста производительности и урожайности, снизить энергетические и материальные затраты.

Цифровые машинные технологии должны применяться в растениеводстве, животноводстве, энергетике, хранении и переработке сельскохозяйственной продукции. Для эффективного развития производства необходима комплексная система управления аграрными предприятиями, которая на основе получаемых данных позволит обеспечить своевременное и правильное выполнение задач.

В цифровых машинах и технологиях мы выделяем четыре главных направления:

- мониторинг условий и параметров процессов;
- передача и хранение информации;
- искусственный интеллект и облачные технологии¹;
- реализация управленческих решений роботизированными техническими средствами.

ИЗМАЙЛОВ Андрей Юрьевич — академик РАН, директор ФНАЦ ВИМ.

Основные объекты мониторинга — почвы, растения, животные, погодно-климатические условия, технические средства и технологические процессы.

Таким образом, средства наземного и воздушного мониторинга получают и передают данные в режиме реального времени на облачную платформу. Искусственный интеллект на базе данных мониторинга оптимизирует технологические операции и даёт команду исполнительным механизмам.

Применение интеллектуальных роботизированных средств, разработанных в ВИМе, уже показало свою эффективность в полевых условиях. Наземный мониторинг осуществляется мобильными и стационарными средствами. Мобильные средства позволяют с высокой точностью оценить характеристики почвы, состояние посевов, наличие болезней и вредителей. Стационарные средства мониторинга можно широко применять на сельскохозяйственных угодьях как для прогноза, так и для отслеживания и накопления информации о погодных условиях. Средства воздушного мониторинга на базе различных беспилотных аппаратов позволяют формировать цифровые карты, оценивать состояние почвы, растений, строить прогнозы по урожайности. Мы предлагаем использовать беспилотные летательные аппараты самолётного типа для быстрого мониторинга больших площадей и внесения средств защиты растений.

Сегодня в ВИМе не только занимаются фундаментальными исследованиями, но и испытывают новые машинно-цифровые технологии. В этом году проведены пробные испытания интеллектуального роботизированного комплекса машин, изготовленных на предприятиях ВИМа. В его состав входят технические средства, которые поддерживают взаимосвязь и замкнуты в единую технологическую цепочку для выполнения мониторинга, внесения удобрений и средств защиты растений. Стоит отметить, что базовая станция выполняет функции зарядки и смены аккумуляторных батарей у летательных аппаратов.

Беспилотные наземные и летательные средства обследуют поля и по каналам связи передают информацию на базовую станцию. На этой основе создаются цифровые карты и распределяются команды на внесение средств защиты растений. В зависимости от удалённости объекта и объёмов опрыскивания система определяет, какое техническое средство должно быть направ-

лено на проблемные участки. Далее наземный или воздушный аппарат производит внесение средств химической защиты на определённые участки.

В мире интенсивно развиваются технологии выращивания овощных и ягодных культур в искусственных экосистемах, в том числе в городских условиях. Поэтому мы считаем перспективным использование цифровых технологий и в закрытых искусственных системах. В ВИМе разработан и изготовлен интеллектуально-роботизированный комплекс для управления ростом растений. Он позволяет подбирать оптимальные режимы для их эффективного роста за счёт получения информации от растений. Это реализуется благодаря "диалогу" между растением и машиной. Исходя из изменения цвета растений, их формы, динамики роста, автоматически корректируются параметры микроклимата и питания.

Серьёзная работа по созданию цифровых машинных технологий проведена в садоводстве. Мониторинг садовых насаждений с помощью летательных аппаратов позволил оценить санитарное состояние и заболеваемость деревьев, урожайность и спелость плодов, что даёт возможность эффективно управлять процессом возделывания культур. Разработаны программы, с помощью которых можно на основе оцифрованных данных о состоянии почвы, количестве плодов, степени их зрелости, заболеваемости и т. п. оптимально подбирать сроки и способы внесения удобрений и средств защиты растений. Технология мониторинга помогает создавать цифровые карты распределения плодов в рядах насаждений и определять их урожайность.

Для ягодных культур предложена роботизированная платформа с интеллектуальной системой распознавания ягод и устройством для их уборки. Платформа оснащена адаптивной ходовой системой, модулем технического зрения и системой цифрового функционирования, которая позволяет собирать данные о состоянии плодов и распознавать степень их спелости. Для этого манипулятор производит съём ягод, не повреждая их.

Разрабатываются системы кормления, содержания, доения в животноводстве. В первую очередь это цифровое распознавание животных и оценка их физиологического состояния с помощью радиометок, микрокапсул, дистанционных датчиков и технического зрения. С использованием беспилотных летательных аппаратов и наземных средств производится оценка потенциала кормовых угодий. Эта информация нужна для регулирования рациона питания в зависимости от физиологических потребностей животных. Результаты мониторинга передаются на системы сбора и обработки информации с помощью

¹ Облачные технологии (вычисления) — модель обеспечения сетевого доступа к некоторому общему объёму вычислительных ресурсов.

технологии интернет-вещей и искусственного интеллекта. Создаются животноводческие комплексы, оснащённые интеллектуальной системой поддержания оптимального микроклимата внутри помещений, дозированной раздачей кормов и управляемым доением. Все разработки ориентированы на эффективное использование генетического потенциала животных.

Федеральный центр ВИМ включает 7 научно-исследовательских институтов и 5 производственных предприятий, что даёт возможность

вести научные исследования, разработки и изготавливать машины и оборудование в области растениеводства, животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции. При создании цифровых технологий формируются новые подходы в области автоматизации, роботизации сельскохозяйственного производства. Внедрение интеллектуальных цифровых систем позволит перейти на качественно новый уровень развития технологий и будет способствовать решению задач, поставленных Президентом РФ.

SMART TECHNOLOGIES AND ROBOTIC MEANS IN AGRICULTURAL PRODUCTION

© 2019 A.Yu. Izmaylov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

E-mail: vim@vim.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 11.02.2019

Accepted: 18.02.2019

A necessary condition for a sharp increase in production is the introduction of digital smart technologies. With the use of digital technologies, it is possible to achieve a significant increase in labor productivity and crop yields, reduce energy and material costs. Digital machine technologies should be used in crop production, animal husbandry, power engineering, storage and processing of agricultural products. The effective production development requires a comprehensive system of management of agricultural enterprises, which, based on the obtained data, will ensure timely and correct processing.

In digital machines and agricultural technologies, four main areas can be identified: monitoring of environment and parameters of processes; transmission and storage of information; artificial intelligence and cloud technologies; implementation of management decisions by robotic technical means. The main objects of monitoring are soils, plants, animals, weather and climatic conditions, technical means, and technological processes. Ground and air monitoring tools receive and transmit real-time data to the cloud platform. Artificial intelligence optimizes technological operations and gives a command to the actuators using the monitoring data.

Keywords: agriculture, export, power engineering, digital smart technologies, monitoring means, robotic means, unmanned aerial vehicles.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ХРАНЕНИЮ И ЭФФЕКТИВНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

© 2019 г. А.Г. Галстян^{1*}, Л.М. Аксёнова^{2**}, А.Б. Лисицын^{2***},
Л.А. Оганесянц^{1****}, А.Н. Петров^{3*****}

¹*ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Москва, Россия*

²*ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Москва, Россия*

³*ВНИИ технологий консервирования — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Видное, Россия*

*E-mail: 9795029@mail.ru; **E-mail: conditerprom@mail.ru; ***E-mail: info@fncps.ru;

****E-mail: vniipbivp@fncps.ru; *****E-mail: vniitek@vniitek.ru

Поступила в редакцию 30.11.2018 г.

Поступила после доработки 30.11.2018 г.

Принята к публикации 21.01.2019 г.

Продовольственная независимость является стратегическим компонентом безопасности страны, что закреплено в ряде нормативно-правовых документов. В рамках поставленных целей актуализируются приоритетные задачи групповой и индивидуальной идентификации продуктов, в том числе по биологическому и географическому признакам, унификации оценочных критериев и объективных принципов расширения их области, трансформации традиционных технологий.

Прогнозируется, что рост объёмов производства, оптимизация процессов и системы потребления будут основаны на применении ряда принципов: "прижизненного" формирования состава и свойств сырья; разработки высокоэффективных технологий производства и глубокой переработки сельскохозяйственной продукции; реализации алгоритмов структурирования логистики, хранения и переработки/утилизации пищевых продуктов и отходов; повышения энергоэффективности производственных процессов. При этом стратегические векторы развития технологий — специализированное и персонализированное питание, трансграничное сотрудничество, качество и безопасность пищевых продуктов, минимизация негативного воздействия на окружающую среду, прослеживаемость продуктовой цепи от поля до потребителя и др. Для достижения всего этого потребуются широкое внедрение современных технологий, в частности цифровых, а также модернизация традиционных и создание новых методологических и процессовых решений.

Ключевые слова: сельскохозяйственное сырьё, продукты питания, хранение, переработка, потери продукции, персонализированное питание, пищевые системы, продуктовые матрицы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895539-542>

Проблема количественного и качественного обеспечения людей 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. 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, опосредованно сопутствующие повышению сроков годности скоропортящейся продукции. Актуализируются задачи идентификации продуктов (в первую очередь по биологическому и географическому признакам), унификации оценочных критериев и объективных принципов расшире-

ГАЛСТЯН Арам Генрихович — член-корреспондент РАН, заведующий МНТЦ мониторинга качества пищевых продуктов ВНИИПБиВП. АКСЁНОВА Лариса Михайловна — академик РАН, руководитель научного направления ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН. ЛИСИЦЫН Андрей Борисович — академик РАН, научный руководитель ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН. ОГАНЕСЯНЦ Лев Арсенович — академик РАН, директор ВНИИПБиВП. ПЕТРОВ Андрей Николаевич — академик РАН, директор ВНИИТеК.

ния их области, модификации традиционных технологий, потенциал которых не предполагает их бесконечное тиражирование.

Глобальными проблемами по праву считаются, с одной стороны, наличие примерно 800 млн голодающих людей, а с другой, астрономические потери готовой продукции — более 30 % от 4 млрд т (данные 2017 г.), которые связаны с низким качеством сырья, нарушениями производственного процесса, условиями посттехнологического хранения, логистикой, возвратами излишков торговыми организациями и др. При этом, по прогнозам ООН, к 2050 г. глобальные процессы в мире потребуют увеличения производства продовольствия в 1,5–2 раза по сравнению с сегодняшним уровнем и, при условии сохранения указанных выше соотношений производства и потерь, последние примут катастрофические масштабы.

Наиболее позитивный сценарий развития ситуации предполагает, что объёмы производства будут расти благодаря разработке высокоэффективных технологий глубокой переработки сырья, созданию "умных" систем хранения и логистики, а также минимизации потерь и отходов. Соответственно, на первый план выходит задача "прижизненного" формирования состава и свойств сырья, что является обязательным условием функционирования современных технологий и концепции "умного" сельского хозяйства. Именно с этим направлением связаны потенциальные качественные скачки в развитии технологий, последовательно способствующие продвижению положительных тенденций в питании населения, в том числе профилактике алиментарно-зависимых патологий, и последующего перехода к персонифицированному питанию.

Априори только при наличии сырья с определённым 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 — по сути, новое направление междисциплинарных исследований. Основным акцент новых технологий нужно сделать на их инвариантности и универсальности. Примером могут послужить данные по унификации процесса растворения как наиболее распространённо-

го и типичного для пищевой промышленности. Проведённые нами исследования и разработанные программные продукты позволили в разы оптимизировать энергозатраты, а также существенно повысить качество получаемых систем, в частности, их хранимоустойчивость.

Следует отметить, что именно с хранением связаны достаточно существенные потери пищевых продуктов — около 20%. С учётом того, что практически половина всей пищевой продукции относится к группе скоропортящейся и требует соответствующего хранения, разработки в направлении стабилизации пищевых систем имеют первостепенную важность. Помимо технологических нюансов стабилизации биологических систем особый интерес представляют процессовые решения, в частности, холодильные цепи с интегрированными элементами цифровых решений, включённые в единую систему отслеживания.

Сегодня цифровизация стала неотъемлемой частью повседневной жизни. Различные концепции быстро инкорпорируются в государственные программы и бизнес-процессы. Эти технологии масштабно и разнопланово интегрируются в область пищевых систем, в том числе со стороны государственных органов в рамках исполнения контрольных функций.

В современном мире, как никогда прежде, актуализировалось управление качеством пищевых продуктов в связи с интенсивным развитием технологий, пробелами в методологической сфере, различиями в законодательствах стран — экспортёров продукции, правилами трансграничного сотрудничества и др. Эта многопараметрическая задача не нова, но именно благодаря цифровым технологиям впервые появилась реальная возможность сделать существенный шаг к её решению. Для идентификации продукции создана инвариантная методология цифровых профилей (матриц) продуктов в соответствии с их универсальной градацией: подлинный (эталонный), суррогатный, некондиционный и поддельный (фальсификат). Базовая матрица подлинного продукта соответствуют 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. В матрице суррогатного продукта определены регламентируемые производителем изменения, введённые в традиционный продукт. Обычно суррогатный продукт — это удешевлённая копия подлинного. В случае некондиционного продукта, фактически технологически скрытого обвеса потребителя, его компоненты заменены количественно и/или нарушены

их природные соотношения. Сегодня уровень фальсификации пищевых продуктов в России, по разным источникам, составляет от 20 до 80% по отдельным группам. Ложная матрица, характерная для фальсифицированного продукта, представляет собой комбинацию псевдоматрицы и видоизменённой матрицы и может нести в себе свойства как суррогатного, так и некондиционного продукта и их различных вариаций. Введено также понятие "результатирующая матрица", 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 усреднённую матрицу фактически предоставленных образцов, а также матрицу стандартных отклонений, визуализируя полученный материал в цифровом и графическом виде. Параллельно программа анализирует относительную новизну продукта по сравнению с эталонным, что, по сути, является новым подходом к оценке ноу-хау технологий. Отдельно введён алгоритм прогнозирования направлений фальсификации, предопределяющий вектор расширения области оценочных критериев.

С использованием предлагаемой методологии матриц процедура идентификации и оценки качества продуктов питания максимально упрощается. При этом реалии сегодняшнего времени предполагают обязательное расширение перечня оценочных критериев и внедрение исконно научных методов исследований в область рутинных лабораторных практик. В частности, данные микроэлементного состава виноматериала и результаты дискриминантного анализа его географической принадлежности позволяют дифференцировать продукцию различных производителей даже в рамках одного федерального округа. В целях идентификации соответствия продукции инициировано применение изотопной масс-спектрометрии. Из проанализированных в 2017 г. нескольких тысяч образцов коньяка примерно 70% было забраковано именно из-за расширения области оценочных критериев данными изотопного анализа. Альтернативные варианты идентификации будут построены на ДНК-аутентификации основного

биологического компонента, что позволит опосредованно определять сырьевые ингредиенты, а в некоторых случаях географическое место их происхождения. Предложены алгоритмы определения рациональности применения того или иного подхода с прогнозируемой точностью результатов. Одновременное использование трёх указанных методов позволяет получить результат достоверностью более 99%.

С ДНК-технологиями и чипированием связано ещё одно направление исследований, с помощью которого пополняется массив цифровизации, — это технологии интегрированных маркеров для количественного и качественного контроля продуктов питания с позиции их прослеживаемости в цепи "сырьё — конечный потребитель". Система распределения и хранения информации предполагает применение блокчейн-технологий, формирование базы данных, наличие опции дистанционного считывания информации и многого другого.

Таким образом, положения, отнесённые к пищевым системам в Стратегии научно-технологического развития РФ, 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 развитие общества стимулирует разработку инвариантных решений с привлечением фундаментальных результатов исследований учёных из областей естественных, точных и медицинских наук. Ведь сегодня уже можно смело говорить о достаточно близкой перспективе персонифицированного питания, 3D-продуктах, системах интеллектуальной маркировки, внедрении искусственного интеллекта и робототехники в рутинные процессы производства и контроля пищевых продуктов, применении технологий виртуальной и дополненной реальности. Пищевые системы — это достаточно конкретная, оперативно формирующаяся область знаний с большим внедренческим потенциалом, не имеющая временных и пространственных ограничений.

MODERN APPROACHES TO STORAGE AND EFFECTIVE PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS FOR OBTAINING HIGH-QUALITY FOOD PRODUCTS

© 2019 A.G. Galstyan^{1*}, L.M. Aksyonova^{2**}, A.B. Lisitsyn^{2***},
L.A. Oganesyants^{1****}, A.N. Petrov^{3*****}

¹*All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry
Moscow, Russia – Branch of Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russia*

²*Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russia*

³*All-Russian Research Institute of Preservation Technology – Branch of Gorbatov Federal Scientific Center
for Food Systems of RAS, Vidnoye, Russia*

E-mail: 9795029@mail.ru; **E-mail: conditerprom@mail.ru; *E-mail: info@fncps.ru;*

*****E-mail: vniipbivp@fncps.ru; *****E-mail: vniitek@vniitek.ru*

Received: 30.11.2018 г.

Revised version received: 30.11.2018 г.

Accepted: 21.01.2019 г.

In the modern world, the problem of providing the population with high-quality food products is reaching a critical point due to the increase in the population of the planet, mediated by an influence on the growth of food consumption; globalization processes, thereby contributing to fundamental changes in the structure and patterns of nutrition i.e., insufficiently effective principles of agricultural raw materials processing, etc.

Today, food independence is a strategic component of a country's security, which is enshrined in a number of regulatory documents, including: the Doctrine of Food Security of the Russian Federation; the Strategy for Scientific and Technological Development of the Russian Federation; the Strategy for Improving the Quality of Food Products in the Russian Federation until 2030; and, others. The stated goals are: updating the priority tasks of group and individual products identification, including on biological and geographical features; unification of evaluation criteria and objective principles for expanding their field; traditional technologies transformation, the potential of which doesn't have the possibility of unlimited replication, etc.

It is predicted that the growth of production volumes, processes and consumption systems optimization will be based on the application of a number of basic principles: "lifetime" formation of raw materials composition and properties; development of highly efficient production technologies and deep processing of agricultural products; implementation of algorithms for structuring logistics, storage and processing/disposal of food and waste; increasing energy efficiency of production processes, etc. At the same time, the strategic vectors of technology development are specialized and personalized nutrition, cross-border cooperation, food quality and safety, minimization of negative environmental impact, traceability of the food chain "from field to consumer," etc. A priori, to achieve all this it will require the introduction of widespread modern technologies, including digital ones, as well as the modernization of traditional and the creation of new methodological and process decisions.

Keywords: agricultural raw materials, food products, storage, processing, product losses, personalized food, food systems, food matrices.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ГЛАВЫ АДМИНИСТРАЦИИ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ ДОКТОРА ЭКОНОМИЧЕСКИХ НАУК А.В. НИКИТИНА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: Тамбовская область, АПК, сельское хозяйство, инновации.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895543-544>

Я хочу поблагодарить за возможность выступить и отметить результаты работы агропромышленного комплекса Тамбовской области и роль науки в их достижении.

Представленные сегодня доклады демонстрируют высокий потенциал аграрной науки. Об этом также свидетельствуют данные, опубликованные в отчёте Отделения сельскохозяйственных наук РАН: 224 новые технологии, усовершенствованные технологические процессы производства сельскохозяйственной продукции, 100 единиц новых видов сельскохозяйственной техники и оборудования, 830 патентов. Если принять всё перечисленное во внимание, то, казалось бы, какие основания могут быть для беспокойства об импортозависимости сельскохозяйственного производства от высоко- и энергоэффективной сельскохозяйственной техники, семян, племенного скота, тем более когда у нас есть такое большое количество институтов развития: Внешэкономбанк, центр "Сколково", Российская венчурная компания, Россельхозбанк, Фонд развития промышленности, Фонд поддержки малого предпринимательства в научно-технической сфере. Все они должны в полном объёме продвигать эти наработки. Недавно председатель Правительства РФ Д.А. Медведев сказал, что при таком изобилии научных исследований скорость внедрения наших научно-исследовательских результатов и разработок всё-таки меньше, чем можно было бы ожидать. На мой взгляд, тому есть несколько причин.

Во-первых, пока высокотехнологичный бизнес в АПК не будет заинтересован в покупке стартапов, результатов исследовательской работы, которая зачастую проходит не в стенах федеральных научно-исследовательских центров, аграрных вузов и университетов, а на малых инновационных предприятиях, то скорость внедрения инноваций будет такой, какую мы наблюдаем сейчас. Ведь покупка стартапов высокотехнологичным бизнесом, о чём свидетельствует передовой международный опыт, — неперемненное условие создания этих самых стартапов.

Во-вторых, ключевым покупателем сельскохозяйственных инноваций по-прежнему выступает наше государство, и мы видим, как оно финансирует разработки, хотя объём государственной поддержки, если ориентироваться на гранты, всё-таки не уменьшается, а растёт.

В-третьих, нужно признать, что мы не в состоянии предоставлять готовые инновационные комплексы и продукты для бизнеса, который формирует ключевой инвестиционный потенциал в отрасли.

Выступая недавно по приглашению академика А.В. Петрикова на Международной конференции "Никоновские чтения", я обратил внимание на то, что Тамбовская область с точки зрения объёма инвестиций в АПК — один из передовых регионов страны. Объём инвестиций в региональный АПК — 35 млрд руб., а в структуре валового регионального продукта — более 30%. Подобных регионов в стране мало. В то же время доля сельского населения самая высокая. Казалось бы, при такой структуре региональной экономики вклад отечественной науки, аграрных исследований вузов и федеральных научных центров должен быть максимальным.

Проекты, которые реализовывались в Тамбовской области в последние 3—4 года, стоили от 1 до 20 млрд руб. Среди разработчиков проектов есть общества с ограниченной ответственностью, консалтинговые компании, например, "МакКинзи", "Райс вотерхаус". Сегодня Тамбовская область занимает второе место в стране по производству мяса. Я уверен, что при такой динамике при реализации инновационных проектов через год у нас есть все шансы стать абсолютным лидером. К сожалению, здесь нет ни одного аграрного вуза, ни одного федерального научного центра. В первую очередь нужно заниматься инфраструктурой. Неслучайно в Национальном проекте "Наука" ключевую роль играет не просто научная и научно-производственная кооперация, а создание передовой инфраструктуры для научно-исследовательской деятельности. Если во всех отчётах (научных, регио-

нальных, отраслевых) будет отмечено, сколько было создано инжиниринговых, маркетинговых, научно-образовательных центров, центров коллективного пользования, агротехнопарков, то проблем с коммерциализацией научно-технологических разработок будет меньше.

Мы предложили проект по созданию инновационно-технологического центра в Мичуринске — единственном аграрном наукограде РФ, расположенном в Тамбовской области. Проект прошёл различные экспертные площадки и обсуждения. Мы выражаем личную признательность президенту РАН А.М. Сергееву за то, что он нашёл возможность с ним ознакомиться. Проект обсуждался в Академии наук, профильных комитетах Государственной думы и Совета Федерации, в Высшей школе экономики.

Федеральный закон № 216 "Об инновационных научно-технологических центрах..." предоставляет следующие возможности: налоговые преференции для малых инновационных предприятий и для предприятий, созданных с участием вузов и федеральных научных центров; льготное подключение различной технической документации для активного участия крупного бизнеса в малых и средних формах хозяйствования. Однако здесь мы столкнулись с серьёзной проблемой. Учредить Федеральный инновационный научно-ис-

следовательский центр могут либо университеты, либо Федеральный испытательный центр, имеющие определённую категорию. Два года назад при поддержке Российской академии наук и ФАНО был создан такой федеральный научный центр. Два года мы функционировали, а сегодня не имеем возможности в инициативном порядке выйти на категорирование, потому что для этого требуется целый год. Сегодня ни один аграрный университет не может создать инновационный научно-технологический центр только потому, что не имеет статуса национального исследовательского или федерального университета.

По инициативе А.М. Сергеева я подготовил обращение в адрес Министерства науки и высшего образования РФ, Министерства сельского хозяйства РФ и Министерства экономического развития РФ с просьбой сформировать группу университетов, которые могли бы быть приравнены к национальным исследовательским университетам. Ведь многие из них достойны участвовать в создании той необходимой инфраструктуры, которая позволит нам достичь коммерциализации исследований и разработок. 250 институтов Российской академии наук связаны с АПК, поэтому я призываю всех коллег к сотрудничеству и созданию инновационного научно-технологического центра.

SPEECH OF THE HEAD OF THE ADMINISTRATION OF THE TAMBOV REGION A.V. NIKITIN

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: Tambov region, agrarian and industrial complex, agriculture, innovations.

ВЫСТУПЛЕНИЕ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО СОВЕТА ГРУППЫ КОМПАНИЙ "БЕЛАЯ ДАЧА" КАНДИДАТА ЭКОНОМИЧЕСКИХ НАУК В.А. СЕМЁНОВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.
Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: Тамбовская область, цифровизация агропроизводства, системы ITIL, поддержка принятия решений, точное земледелие.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895545-547>

Цифровизация сельского хозяйства несёт в себе огромный потенциал развития. До сегодняшнего дня агрономы и агротехники принимали решения по многим вопросам исключительно на интуитивном уровне. Повысить производительность труда и управления до максимального уровня без цифровизации невозможно. Она позволяет сократить время принятия решений, прогнозировать риски и управлять ими. Цифровизация — это комплексное объединение всех систем, работников, процессов и технологий в единое информационное поле. Однако процесс трансформации сельхозпредприятия в цифровое предприятие обязательно включает в себя непрерывное обучение персонала для лучшего понимания свойств почвы, климатических условий, изучения картографии, информационных технологий и получения множества других знаний.

Наше предприятие в Тамбовской области ООО "Белая Дача Фарминг" является пилотным проектом по построению современного цифрового сельхозпредприятия. Здесь внедряются стандарты производства и хранения продукции GLOBALG.A.P., ИТ-стандарты управления и разработки систем ITIL. Конечная цель — разработка единой системы поддержки принятия

решения на предприятии. Наша цифровая платформа разрабатывается с применением технологий Open source, позволяющих создавать отечественное программное обеспечение с нулевыми лицензионными отчислениями и избежать потенциальных рисков применения международных санкций.

Мы добились результатов в следующих направлениях цифровизации: "умное" орошение, точное земледелие, "умное" хранение, ресурсное планирование, автоматический учёт и контроль. В настоящее время разрабатывается цифровая платформа сбыта продукции (рис. 1).

Что имеется в виду под "умным" орошением? Для эффективного использования и масштабирования оросительных систем разрабатывается IoT-платформа (IoT — Интернет вещей), в которой объединяются информация с различных датчиков, расположенных на поле, гиперлокальный прогноз погоды и данные средств мониторинга (скаутинг). В итоге после обработки информации автоматически создаётся точный график полива и фертигации (внесение жидких удобрений или пестицидов одновременно с орошением) с учётом необходимого количества воды и питательных элементов для растения и рассчитыва-



Рис. 1. Концепт цифрового сельхозпредприятия ООО "Белая Дача Фарминг"

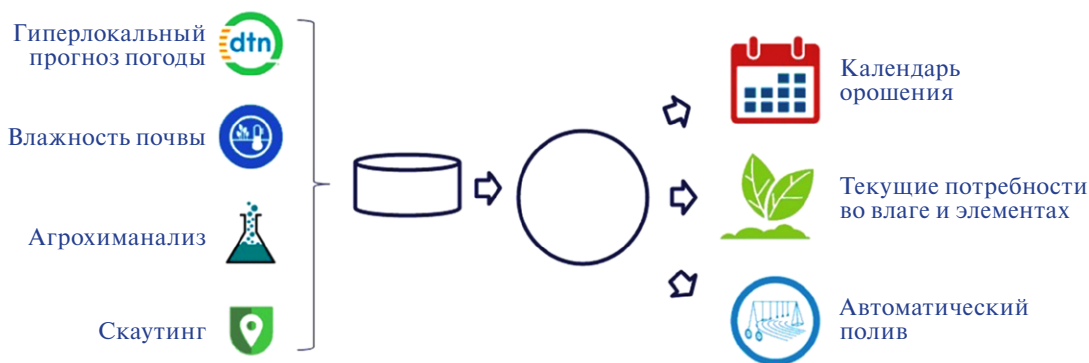


Рис. 2. Структурная схема проекта "Умное орошение"

ется текущее состояние водного баланса в почве. После этого задаётся программа управления оросительной системой в автоматическом режиме. Это сводит к минимуму воздействие человеческого фактора, экономит время, природные ресурсы, сокращает затраты на менеджмент. Также повышается качество продукта и его урожайность (рис. 2).

Что касается точного земледелия, то в теплицах, где есть проточная гидропоника, проблем в этом направлении нет. Однако для производства в открытом грунте стоят следующие цели: сократить количество удобрений и средств защиты растений на 1 га, горюче-смазочных материалов, повысить урожайность, вести историю поля и управлять плодородием на участках площадью 0,1 га и меньше. В данный момент компания активно использует технологии точного земледелия. На основе информации, полученной после агрохиманализа, рассчитываются нормы внесения удобрений и строятся карты заданий для техники. В 2019 г. с использованием сканеров однородности и соответствующих математических моделей планируется увеличить точность дифференцирования с 5 до 0,1 га в открытом грунте. Вся информация сохраняется в геоинформационной системе и используется в качестве истории для каждого участка поля, что позволяет проследить изменения и выявить наиболее эффективные методики. В дальнейшем планируется включить в систему точного земледелия весь цикл обработок: дифференцированная глубокая обработка, посев, опрыскивание и подкормка, раскисление (рис. 3).

Во многих агрохолдингах используется мониторинг техники. Мы разработали и уже внедрили в производство программу, осуществляющую контроль горюче-смазочных материалов, автоматическое заполнение документов, автоматический подсчёт обработанных площадей, автоматическую идентификацию механизаторов и видов работ. Для удобства используется 3D-интерфейс. Программа позволяет строить аналитические модели затрат по культурам и применяемым прицепным агрегатам.

Также мы сотрудничаем с мировым лидером отрасли по точному прогнозу погоды — американской компанией DTN. Почасовой прогноз погоды даёт нам возможность планировать полевые работы с высокой долей вероятности на две недели. Выбирается оптимальное время работ с точки зрения температуры, скорости ветра, времени и количества осадков. Это сокращает затраты, увеличивает скорость и точность управления. В частности, мы значительно сократили объём азотных удобрений, так как они вносятся дифференцированно, в зависимости от стадии роста растений.

Цифровизация и автоматизация процессов хранения позволяют хранить, к примеру, картофель 11 месяцев — до середины июня следующего после уборки года. Мониторинг и управление процессом хранения осуществляются в том числе дистанционно.

Пару слов скажу про агропромышленный маркетплейс GrainChain. Данная площадка обрабатывается совместно с Российским зерновым



Рис. 3. Применяемая схема точного земледелия

союзом. Ею уже заинтересовались банки. Целями сервиса GrainChain являются: создание удобной отраслевой цифровой экосистемы, позволяющей минимизировать издержки участников рынка при поиске надёжных контрагентов и заключении сделок купли, продажи и перевозки зерновых; осуществлять постоянный мониторинг и прогнозирование рынка на основе анализа больших данных. Самое ценное в платформе GrainChain – то, что мы можем предложить её рынку на бесплатной основе. Это означает, что ею будут пользоваться десятки тысяч абонентов.

В заключение хотелось бы подчеркнуть важность поддержки цифровизации сельского хозяй-

ства со стороны науки. Нужна совместная работа по математическому моделированию дифференцированного питания различных культур в зависимости от стадии развития. Также необходимо общими усилиями разработать и испытать датчики для определения давления питательного раствора в открытом грунте. Подобные датчики и математические модели, интегрированные в соответствующие программы, позволят создать систему, которая поможет сельхозпроизводителям принимать оптимальные решения на базе цифровых программ. Кроме того, нужно создать центр компетенций на базе университетов и хозяйств, готовых внедрять современные цифровые технологии.

SPEECH OF THE CHAIRMAN OF THE SUPERVISORY BOARD OF THE GROUP OF COMPANIES "BELAYA DACHA" V.A. SEMENOVA

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: Tambov region, digitization of agricultural production, ITIL systems, decision support, precision farming.

ВЫСТУПЛЕНИЕ АКАДЕМИКА РАН С.Д. КАРАКОТОВА

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: цифровизация, экологизация, биологизация, сельское хозяйство, средства защиты растений, экологизация.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895548-548>

Сегодня подтверждается гениальная мысль Карла Маркса о том, что идея только тогда становится материальной силой, когда она овладевает массами. Я говорю о цифровизации, экологизации и биологизации сельского хозяйства. В данном случае хочу остановиться на том, в каком положении находятся российская наука и производство.

Иногда полезно оглянуться назад и вспомнить, что было в советский период. Производилось более 600 тыс. т средств защиты растений, в частности, на территории России — более 300 тыс. т. Что же мы имеем сейчас? В 2000-е годы производилось 20–29 тыс. т препаратов. Это стало глубочайшим падением и производства, и разработок. За последние 14 лет показатели выросли, в 2018 г. произведено 140 тыс. т. В то же время примерно в 2 раза выросло потребление минеральных удобрений. Возрос урожай кукурузы, зерновых, сои и других культур. С 2000 по 2018 г. на 62% увеличилась урожайность зерновых. Этому способствовали инновации в системе защиты культур, рост объёмов потребления, новые сорта и гибриды, техника и технологии, химизация сельского хозяйства.

Цифровизация и биологизация невозможны без экологизации. Среди целей научного сообщества, производителей и разработчиков средств защиты растений — повышение эффективности производимых препаратов, снижение их затрат на 1 га, оздоровление среды, сохранение почвенного биоценоза.

Новейшие направления в сфере создания средств защиты растений — коллоидные системы, мицеллярные растворы, микроэмульсионные растворы, которые обладают уникальным свойством повышать эффективность и в то же время оказывать меньшую нагрузку на агробиоценоз. Традиционные формы химических средств защиты растений — порошки, дусты, эмульсии, суспензии, гранулы — уходят в прошлое. Современные продукты имеют дисперсность менее 0,1 мк, а чаще всего — 100 нм.

Хочу обратить ваше внимание на эффекты, которые достигаются при использовании некоторых классов продуктов. Протравливание семян — одна из основ получения хорошего урожая. Новые продукты могут проникать внутрь семени, сохраняя в здоровом состоянии оболочку, эндосперм и зародыш зерновки. Мы изучили физико-химическое проникновение продуктов в растение. Традиционные суспензии покрывают только поверхность. Проникновение 80–90% действующего вещества мы наблюдаем в случае микроэмульсий. Это приводит к оздоровлению корневой системы, она интенсивнее развивается, становится более мощной, чем у растений, обработанных традиционными формами препаратов. Увеличивается средняя масса побега и корня (до 350%).

Ещё одно важное направление исследований — масляно-дисперсионная система. Она нацелена на уменьшение норм применения препаратов за счёт образования плёнок, проникающих через слой листовой поверхности и более полно воздействующих на структуру растения.

В завершение скажу пару слов о сохранении почвы в биоценозе. Создаются продукты с низким эффектом последствия, то есть они быстрее разлагаются в почве. Также есть биопрепараты, которые разрушают остатки пестицидов. Это важно для формирования полноценного севооборота, чтобы последующая культура не подвергалась воздействию остатков. В течение 7 лет мы проводили исследования в собственном хозяйстве на 8 тыс. га, фиксировали кислотность почвенной среды, содержание гумуса, фосфора и калия. Наблюдалось падение pH почвы, однако на 10% увеличился гумус, фосфор же не ушёл из почвенной среды, калий находился в пределах ошибки. Можно сделать вывод: эти подходы позволяют сохранять почвенную среду.

Завершу своё выступление следующей формулой бизнес-стратегии: неважно, сколько у вас генетических ресурсов, но если вы не умеете правильно их использовать, их никогда не будет достаточно.

SPEECH OF THE ACADEMICIAN OF RAS S.D. KARAKOTOV

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: digitalization, ecologization, biologization, agriculture, plant protection products, ecologization.

ВЫСТУПЛЕНИЕ НАЧАЛЬНИКА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕЗИДЕНТА РФ ПО НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПОЛИТИКЕ И.П. БИЛЕНКИНОЙ

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: научно-технологическое развитие, экологически чистое сельское хозяйство, рынок.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895549-549>

Сегодняшнее собрание проходит в условиях пристального внимания Президента РФ и всего государства к роли науки в развитии экономики, технологической и продовольственной безопасности. Принятая 1 декабря 2016 г. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, где одним из приоритетов указан переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству, и Совет по приоритету, который возглавила академик И.М. Донник, — это огромный шаг в понимании роли науки в сельском хозяйстве.

Советы создаются с целью налаживания диалога между наукой, регионами, бизнесом и федеральными органами исполнительной власти. Реализуется Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы. Уже отобран 31 комплексный научно-исследовательский про-

ект. Эти проекты будут финансироваться одновременно из нескольких источников, что осложняет ситуацию. Здесь и Комиссия по сельскому хозяйству, и Министерство науки и высшего образования РФ, а также бизнес-партнёры и инвестиционные фонды. Министерство науки и высшего образования РФ до конца года дорабатывает порядок формирования комплексных научно-технических программ. Вопросы и задачи, которые выработает Совет, уже можно будет сформировать в виде программ и представить к дальнейшему рассмотрению и финансированию.

Роль науки, в частности сельскохозяйственной и биологической, в жизни людей беспрецедентна. Указ Президента РФ № 204 задаёт новые планки — это и повышение продолжительности жизни до 78 лет, и улучшение условий жизни, и совершенствование технологического уровня. Я уверена, что перечисленные сегодня задачи в скором времени будут воплощены в жизнь.

SPEECH OF THE HEAD OF THE DEPARTMENT OF THE PRESIDENT OF THE RUSSIAN FEDERATION ON SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL POLICY I.P. BILENKINA

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: scientific and technological development, environmentally-friendly agriculture, market.

ВЫСТУПЛЕНИЯ УЧАСТНИКОВ НАУЧНОЙ СЕССИИ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

Материал поступил в редакцию 03.12.2018 г.

Принят к публикации 25.12.2018 г.

Ключевые слова: И.А. Щербаков, Р.И. Нигматулин, М.П. Лебедев, А.А. Шутьков, А.Н. Спартак.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895550-553>

АКАДЕМИК РАН И.А. ЩЕРБАКОВ

На Общем собрании Отделения физических наук РАН были приняты определённые решения, и мне хотелось бы донести некоторые их положения до Общего собрания членов РАН.

Собрание обращает внимание на необходимость широкого экспертного и общественного обсуждения содержательной части национального проекта "Наука", перегруженного формальными наукометрическими показателями, снижающими роль экспертных оценок, научных результатов и учёта их важности для развития страны.

Необходимо изменить трактовку научной деятельности как оказания услуг, в частности, в применении действующих законов о закупках по отношению к оборудованию и материалам для научных исследований. Абсолютно неприемлем принцип регионального уровня оплаты научной работы. Нужно повысить зарплату инженерно-исследовательского состава научных организаций.

Отделение физических наук РАН выражает озабоченность по поводу отсутствия регламентов взаимодействия с Минобрнауки России. Это отрицательно сказывается на работе институтов, находящихся под научно-методическим руководством РАН. Кроме того, необходимо чётко определить понятие "научно-методическое руководство".

Отделение одобряет идею усиления роли научных советов в работе РАН, однако обращает внимание президиума РАН на важность разработки механизмов повышения роли советов. Что касается Минобрнауки России, то следует иметь в виду, что существенные задержки финансирования утверждённых научных проектов могут привести к срыву сроков выполнения работ. Невозможно получить деньги в декабре и реализовать их до января.

АКАДЕМИК РАН Р.И. НИГМАТУЛИН

Думаю, что подавляющее большинство тех, кто слушал доклады, окончательно утвердилось во мнении, что мы обладаем необходимым идей-

ным потенциалом для усиления нашего Отечества, причём несмотря на гнёт чиновников и ужасающую бедность науки. Но для реализации этого потенциала необходимы инвестиции, принятие экономических мер. Кстати, если говорить об экономике, как вы думаете, каков средний темп экономического роста с 2008 г.? Точные измерения показывают 0,3% в год в России и 3,5% в мире, и нет ни одного признака изменения этой тенденции.

Вчера с замечательным докладом выступил академик А.А. Дынкин, который привёл результаты опроса некоего экспертного сообщества. И что же больше всего озадачивает экспертное сообщество? В первую очередь экономическая стагнация и вопиющее социальное неравенство. Поэтому изменение экономической стратегии чрезвычайно актуально и, более того, это необходимое условие реализации всех наших идей и разработок. К сожалению, на собрании почти не было экономистов. Мы заслушали только один доклад, хотя и очень интересный, — доклад академика Б.Н. Порфирьева — по экономике, но только в сфере экологии.

Нужно чётко понимать, что аномальное социальное неравенство — это одно из главных препятствий для экономического роста. При нынешнем экономическом неравенстве экономический рост невозможен, и этот факт наше общество никак не может понять. Преодоление аномального неравенства должно происходить постепенно. В экономике вообще не должно быть никаких шоков. В первую очередь нужно вводить налоги на сверхбогатство. Сегодня в России годовой доход 0,4% семей, по разным оценкам, составляет около 10 трлн руб., а весь федеральный бюджет — 15 трлн руб. Указанные 10 трлн руб. не инвестируются, выводятся из экономики и покупательского спроса на товары отечественного производства. Покупательский спрос — единственный двигатель рыночной экономики, а главный инвестор (в том числе наших разработок, представленных в заслушанных на этом собрании докладах) — покупатель отечественного товара. Для этого он должен иметь

сбалансированную заработную плату, что достигается преодолением экономического неравенства, переводом части доходов сверхбогатых в доходы среднего и бедного классов.

Приведу ещё один пример. Президент страны поставил задачу увеличить продолжительность жизни до европейского уровня — 78–80 лет. Статистика по затратам на здравоохранение, по смертности, а соответственно, и по продолжительности жизни показывает, что для достижения поставленной цели затраты на здравоохранение должны составлять не 25, а 50 тыс. руб. на человека в год. При нынешнем экономическом порядке выделить такие средства не представляется возможным.

Вторая причина, о которой подробно и обоснованно говорил академик С. Ю. Глазьев, — порочная политика Центрального банка и всей нашей финансовой системы. При такой политике государство не может инвестировать в экономику из-за аномально высокой кредитной ставки госбанков. Все страны инвестируют примерно 24% своего ВВП, мы — 17%. Нам нужно как минимум на 50% увеличить инвестиции. Оба источника средств — государственный (кредиты госбанков) и рыночный (покупательский спрос) — не работают.

Мы заслушали сообщения об отечественных сельскохозяйственных разработках. Главный инвестор сельского хозяйства — городской житель, получающий сбалансированную заработную плату. Зарплата же сильно занижена, так как завышенная доля национального дохода уходит аномально богатым, составляющим 1% населения; 50% трудящихся получают зарплату менее 20 тыс. руб. Они не могут покрыть необходимые издержки на нормальное питание, содержание жилья и транспорт. Всего лишь 7% трудящихся имеют месячный доход более 70 тыс. руб. Только они и могут покупать товары по сбалансированным с издержками ценам и тем самым инвестировать в нашу экономику.

Ещё одно обстоятельство, на которое стоит обратить внимание. В 2019 г. весьма вероятен спад мировой экономики. Каждые 7 лет наблюдается спад на 2–3%, что приводит к значительному падению цены на нефть. И это сразу поставит под угрозу все наши радужные цифры по науке. Самое печальное, что ни Правительство РФ, ни Президент с его окружением не осознают, судя по всему, всех угроз. Поэтому, кроме Российской академии наук, нет структуры, которая, опираясь на науку, могла бы предупреждать об угрозах и предлагать пути их преодоления. В связи с этим я позволю себе поставить такой вопрос, так как я сам баллотировался на должность президента РАН: зачем академикам нужен президент Российской академии наук? Нами особенно

руководить не нужно. В первую очередь президент РАН — единственный реальный канал связи с Президентом РФ. Он единственный среди нас участвует в работе Правительства РФ. Президент РАН призван доносить до власти проработанные наукой идеи, предупреждать об угрозах. Академики должны сделать всё, чтобы не допустить ослабления государства. Мы обязаны помочь нашей власти осознать и принять адекватные меры.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН М.П. ЛЕБЕДЕВ

Я хочу сказать несколько слов касательно последнего приоритета Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации — о развитии агротехнологий и пищевых технологий. Для Якутии это чрезвычайно важно.

В 2010 г. по инициативе Якутского научного центра СО РАН и Северо-Восточного федерального университета правительство Республики Саха (Якутия) подписало соглашение с Институтом питания РАМН. В рамках соглашения успешно решаются научно-методические и практические проблемы: получены основные параметры оценки питания различных групп населения, обоснованы пути улучшения структуры питания с использованием современных агро- и пищевых технологий. Сегодня присутствовавшие здесь губернаторы регионов подготовили проект соглашения уже между регионами России.

На последнем Общем собрании СО РАН были рассмотрены приоритеты и вызовы, которые стоят перед нами. Якутский научный центр СО РАН представил программу по организации Международного испытательного центра материалов, элементов техники и устойчивости живых систем на полюсе холода. В ней четыре серьёзных раздела. Главный из них касается живых систем, человеческого потенциала в суровых, экстремальных условиях. Якутия — это полюс холода, в 1938 г. температура опускалась до -77°C , но летом температура, как правило, достигает 40°C , что позволяет выращивать арбузы и дыни в открытом грунте. Дальнейшие исследования должны оценить степень нарушения функционирования организма с учётом индивидуально-личностных особенностей, возможность использования биопрепаратов из северных растений и сырья, обладающих адаптогенным действием и повышающих работоспособность и устойчивость функциональной деятельности в экстремальных климатических условиях.

Я предлагаю все обозначенные сегодня приоритеты стратегии рассматривать непосредственно на местах, то есть в региональных научных центрах Российской академии наук.

АКАДЕМИК РАН А.А. ШУТЬКОВ

Хочу подчеркнуть, что доклады, которые мы заслушали, носят фундаментальный и прорывной характер. Если все эти разработки внедрить в производство, мы бы вырвались на первое место в мире по научно-технологическому развитию. Я желаю докладчикам и их коллективам новых успехов в решении острых проблем социально-экономического развития страны.

Одной из важнейших проблем является внедрение результатов научно-исследовательских работ. Если говорить об аграрном секторе, то сегодня внедряется не более 10–12% научных разработок. В советское же время этот показатель достигал 65%. Причина такого спада — невосприимчивость администраций областей, чиновников и производств к новшествам, отсутствие эффективных экономических инструментов стимулирования освоения достижений науки и техники. Докладчики, к сожалению, не в полной мере раскрыли эту тему. Необходим системный подход к активизации инновационных процессов, основанный на учёте наличия научных разработок и их эффективности, и комплексное решение проблем внедрения новшеств в экономику, земледелие, растениеводство и животноводство.

Следует отметить, что администрации регионов не всегда вникают в эти процессы. Институт проблем рынка РАН разработал методику внедрения системы ведения производства. Она предусматривает объективную оценку состояния агропромышленного производства, определяет ключевые направления модернизации производства для решения задач его интенсификации.

Если говорить об импортозамещении, то положение в этой сфере весьма тревожное. В 2000 г. мы импортировали продовольственные товары на 7,6 млрд долл., а в 2017 г. — на 28 млрд долл. Разве это импортозамещение?

Полагаю, что разработка систем агропромышленного производства научными учреждениями совместно с хозяйственными органами должна основываться на принятии совместного постановления президиума РАН и коллегии Министерства сельского хозяйства РФ, которое позволит отработать механизм внедрения научных разработок, что будет способствовать активизации инновационных процессов.

ЧЛЕН-КОРРЕСПОНДЕНТ РАН
А.Н. СПАРТАК

Лейтмотивом всех выступлений является вопрос, каким образом внедрить имеющиеся достижения, как донести до руководства страны,

что заделы есть, причём заделы высокой степени готовности. Нужно нацелить государственную политику на продвижение этих разумных и во многом прорывных решений, тем более что с этим медлить нельзя.

Из своего опыта (я возглавляю Всероссийский научно-исследовательский конъюнктурный институт, являюсь председателем Комитета Торгово-промышленной палаты по вопросам экономической интеграции и внешнеэкономической деятельности, руководителем Экспертной группы национального проекта "Международная кооперация и экспорт") я сделал такой вывод: если постоянно не давить на органы управления, выдвигая предложения, причём предложения, которые носят технологичный характер и уже готовы для обсуждения (проекты документов, программ, концепций), то мало что получится. А если такой прессинг осуществлять, то многие "зёрна" останутся.

На мой взгляд, некоторые важные вопросы развития академии можно было бы решить путём налаживания диалога между представителями общественных наук РАН и представителями естественных наук РАН. В таком диалоге, возможно, удастся найти механизмы (прежде всего это дело экономистов и юристов РАН), позволяющие в проектной логике объединить результаты фундаментальных, поисковых, прикладных исследований, внедренческую деятельность, широкую коммерциализацию, включая последующий экспорт инновационной продукции.

Правильно было сказано об экономических проблемах, неравенстве и стагнации в экономике. Всё взаимосвязано. При слабой экономике трудно говорить о сильной науке. Тем не менее есть системные и частные решения, которые могли бы предложить общественные науки, в том числе по продвижению результатов НИ-ОКР в производство. Надо предметно поговорить о тех экономических механизмах, которые можно использовать для стимулирования российской науки даже в сложных условиях.

Затрону ещё один важный вопрос. Сейчас в устав РАН вносится положение о том, что Академия наук будет участвовать в прогнозировании социально-экономического развития, что правильно. Но прогнозирование, хотим мы этого или нет, всегда будет утопать в текущих проблемах. Мы можем что-то предполагать, но это не даст прорывного видения, выходящего за рамки парадигмы развития. Необходимо создать в академии механизм организации коллективной работы над формированием желаемого образа России в будущем, чтобы понять, какое общество и экономику мы хотим построить, каковы их ключевые харак-

теристики. Многие чиновники говорят, что сегодня программы и концепции не нужны, поскольку жизнь очень быстро меняется, а нам следует заниматься дорожными картами, планами действий и т. п. Это в корне неправильно.

В отсутствие стратегического видения нашего общего будущего управленческие процессы становятся самоценными и самодостаточными и совсем не гарантируют прогресс и повышение качества жизни.

SPEECHES OF THE PARTICIPANTS OF THE SCIENTIFIC SESSION OF THE GENERAL MEETING OF THE RAS MEMBERS

Received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Keywords: I.A. Shcherbakov, R.I. Nigmatulin, M.P. Lebedev, A.A. Shutkov, A.N. Spartak.

НАУЧНАЯ СЕССИЯ
ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИОРИТЕТОВ
НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБЩЕГО СОБРАНИЯ ЧЛЕНОВ РАН

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, определённых Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой 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, посвящённые 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 придаёт 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; противодействии 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, утверждённой 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, проведённую 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 достижение 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 учётом 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.

*Президент
Российской академии наук
академик РАН А.М. СЕРГЕЕВ*

*Главный учёный секретарь
президиума Российской академии наук
академик РАН Н.К. ДОЛГУШКИН*

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

НАГРАДЫ И ПРЕМИИ

Ключевые слова: Е.В. Тарле, А.Г. Арбатов, Н.И. Бубнова, А.Н. Калядин, безопасность и контроль над вооружениями, опасность большой войны с применением ядерного оружия; П.Н. Яблочков, В.С. Высоцкий, В.В. Зубко, С.С. Фетисов, электро- и теплофизические процессы в сверхпроводниках; Е.С. Фёдоров, В.О. Попов, И.П. Куранова, В.Р. Самыгина, структурная биология макромолекул, биотехнологии, белковая кристаллография; Л.А. Чугаев, О.Г. Синяшин, Ю.Г. Будникова, Д.Г. Яхваров, координационные соединения, электрохимический синтез катализаторов, переходные металлы; Е.С. Варга, А.Н. Спартак, международная торговля, интеграционные процессы, российский экспорт.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Е.В. ТАРЛЕ 2018 ГОДА – А.Г. АРБАТОВУ, Н.И. БУБНОВОЙ И А.Н. КАЛЯДИНУ



отношений им. Е.М. Примакова РАН) за сборник “Безопасность и контроль над вооружениями 2015–2016. Международное взаимодействие в борьбе с глобальными угрозами”.

Удостоенный премии коллективный труд посвящён 30-летию публикации первого ежегодника этой серии. Через все главы книги рефреном проходит мысль о том, что построенная во второй поло-

Президиум РАН присудил премию им. Е.В. Тарле 2018 г. академику РАН Алексею Георгиевичу Арбатову, кандидату исторических наук Наталии Игоревне Бубновой и доктору исторических наук Александру Николаевичу Калядину (Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных

вине XX в. система договоров и режимов контроля над вооружениями вступила в стадию кризиса и распада, что опасность большой войны, в том числе с применением ядерного оружия, вновь нависла над Европой и всем миром и необходимо международное сотрудничество для решения ключевых проблем глобальной безопасности.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ П.Н. ЯБЛОЧКОВА 2018 ГОДА – В.С. ВЫСОЦКОМУ, В.В. ЗУБКО И С.С. ФЕТИСОВУ



Президиум РАН присудил премию им. П.Н. Яблочкова 2018 г. доктору технических наук Виталию Сергеевичу Высоцкому, доктору технических наук Василию Васильевичу Зубко и кандидату технических наук Сергею Сергеевичу Фетисову (ОАО “Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт

кабельной промышленности”) за цикл работ “Исследование электро- и теплофизических процессов в сверхпроводниках для электротехнических устройств”. Удостоенный премии цикл теоретических и экспериментальных работ

посвящён разработке новых сверхпроводников электротехнических устройств и может служить базой создания современных сверхпроводящих стабильных электротехнических устройств и их внедрения в энергетику.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Е.С. ФЁДОРОВА 2018 ГОДА –
В.О. ПОПОВУ, И.П. КУРАНОВОЙ И В.Р. САМЫГИНОЙ



современной белковой кристаллографии – от развития методов выращивания высококачественных белковых кристаллов, в том числе в условиях микрогравитации на Международной космической станции, до расшифровки и анализа ряда белковых структур, что имеет большое значение для создания новых лекарственных препаратов и совершенствования биотехнологических

Процессы. Проведён анализ белковых структур, участвующих в играющих важную роль в возникновении нейродегенеративных заболеваний процессах гликолипидного транспорта.

Благодаря специально разработанной методике, позволяющей фиксировать разные стадии ферментативной реакции в одном белковом кристалле, учёными открыты новые детали механизма катализа пирогликофатазой *E.coli*, исследованы структурно-функциональные основы функционирования белка плазмы крови церулоплазмину, показан путь направленной модификации белка для повышения его эффективности при взаимодействии с белками-триггерами воспаления, что может являться основой для создания прототипов новых лекарственных средств. Учёными получено и депонировано в Банк белковых структур (PDB) более 180 структур макромолекул и их комплексов.

Удостоенный премии цикл работ посвящён структурному анализу макромолекул и их комплексов, имеющих важное значение как для фундаментальной науки, так и для практических приложений – медицины и биотехнологий. Работы основываются на применении самых современных физических методов, уникальных научных установок класса “мегасайнс”, новейших вычислительных систем. Они охватывают практически весь спектр

Президиум РАН присудил премию им. Е.С. Фёдорова 2018 г. члену-корреспонденту РАН Владимиру Олеговичу Попову, доктору химических наук Инне Петровне Курановой и кандидату физико-математических наук Валерии Ролановне Самыгиной (Федеральный научно-исследовательский центр “Кристаллография и фотоника” РАН) за цикл работ “Структурная биология макромолекул, значимых для биотехнологии и медицины”.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Л.А. ЧУГАЕВА 2018 ГОДА –
О.Г. СИНЯШИНУ, Ю.Г. БУДНИКОВОЙ И Д.Г. ЯХВАРОВУ



Президиум РАН присудил премию им. Л.А. Чугаева 2018 г. академику РАН Олегу Герольдовичу Синяшину, доктору химических наук Юлии Германовне Будниковой и доктору химических наук Дмитрию Григорьевичу Яхварову (Федеральный исследовательский центр “Казанский научный центр РАН”) за серию работ “Координационные соединения

в электрохимическом синтезе эффективных катализаторов и электрокатализаторов практически значимых реакций".

Авторами удостоенного премии цикла работ разработана эффективная стратегия направленного синтеза практически значимых химических соединений, базирующаяся на электрохимических методах с участием комплексных соединений переходных металлов в необычных степенях окисления. Это позволяет получать уникальные координационные соединения, многие из которых обладают сочетанием практически полезных свойств и могут использоваться в качестве катализаторов разнообразных экологически эффективных процессов органического синтеза прак-

тически важных продуктов и получения новых материалов для водородной энергетики.

Учёными разработана стратегия электрохимического синтеза комплексов переходных металлов, которая представляет собой симбиоз органического электросинтеза, катализа, материаловедения, биохимии и химии окружающей среды. Открыты новые электрохимические процессы, имеющие ряд преимуществ, которые соответствуют принципам "зелёной" химии: мягкие условия, высокие скорости, селективность, удобный операционный контроль, позволяющий автоматизировать контроль электрохимических процессов. Электрохимическую стратегию можно рекомендовать для превентивной защиты окружающей среды.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Е.С. ВАРГИ 2018 ГОДА – А.Н. СПАРТАКУ



Президиум РАН присудил премию им. Е.С. Варги 2018 г. члену-корреспонденту РАН Андрею Николаевичу Спартаку за цикл научных работ по актуальным вопросам развития международной торговли и мировой торговой системы – "Современные трансформационные процессы в международной торговле

и интересы России", "Международная торговля услугами: новые тенденции развития и регулирования, роль в интеграционных процессах", "Мировой и российский экспорт: тенденции и перспективы развития, системы поддержки".

Удостоенные премии научные труды содержат новые, важные для науки и практики результаты исследований в области мировой экономики, меж-

дународной торговли, интеграционных процессов на глобальном и региональном уровнях. В них глубоко и всесторонне исследуются трансформационные процессы, происходящие в этих сферах под влиянием научно-технических факторов. На основе анализа фундаментальных изменений, разворачивающихся в мировой торговой системе в условиях новой экономико-технологической парадигмы, разработаны научно обоснованные рекомендации относительно стратегии действий России и приоритетных направлений её внешне-торговой политики. С учётом новейших трендов, прослеживаемых в меняющемся глобальном экономическом порядке, сформулирована авторская концепция модернизации экспортной специализации России; предложен комплекс практических мер по развитию национальной системы поддержки экспорта, нацеленной на обеспечение конкурентных условия деятельности российских компаний на глобальном рынке.

AWARDS AND PRIZES

Keywords: E.V. Tarle, A.G. Arbatov, N.I. Bubnova, A.N. Kalyadin, security and arms control, the danger of a major war with the use of nuclear weapons. P.N. Yablochkov, V.S. Vysotsky, V.V. Zubko, S.S. Fetisov, electro- and thermophysical processes in superconductors, E.S. Fedorov, V.O. Popov, I.P. Kuranova, V.R. Samygina, structural biology of macromolecules, biotechnology, protein crystallography, L.A. Chugaev, O.G. Sinyashin, Yu.G. Budnikova, D.G. Yakhvarov, coordination compounds, electrochemical synthesis of catalysts, transition metals. A.N. Spartak was awarded the 2018 E.S. Varga prize, E.S. Varga, A.N. Spartak, international trade, integration processes, Russian export.