

# СОДЕРЖАНИЕ

---

---

Том 87, номер 5, 2017

---

---

## С кафедры Президиума РАН

*Н.А. Махутов*

Обобщённые закономерности процессов деформирования и разрушения 407

Изучение и предотвращение катастроф – комплексная задача.

*Обсуждение научного сообщения* 423

---

## Из рабочей тетради исследователя

*В.М. Пищальник, И.Г. Минервин, В.А. Романюк*

Анализ изменений ледового режима в отдельных районах Охотского моря  
в период потепления 429

---

## Обозрение

*М.В. Крылов*

Эволюционная общность неживой природы и живых организмов 441

*Р.А. Курбанов*

Современные формы региональной интеграции сквозь призму евразийского права 449

---

## Проблемы экологии

*С.В. Авакян*

Супрамолекулярная физика окружающей среды: климатические  
и биофизические эффекты 458

---

## Былое

*Ю.В. Кудрина*

Развитие научных знаний в России в период царствования императора  
Александра III 467

---

## Этюды об учёных

*В.М. Баутин*

Истинный аристократ в науке и жизни. *К 200-летию со дня рождения  
академика Н.И. Железнова* 474

---

## Официальный отдел

Президиум РАН решил. – Юбилей. – Награды и премии 483

Присуждение золотых медалей 2017 г. за выдающиеся достижения  
в области пропаганды научных знаний 488

---

---

# CONTENTS

---

---

## Vol. 87, No. 5, 2017

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

---

---

### On the Rostrum of the RAS Presidium

*N.A. Makhutov*

- Generalized Regularities of Deformation and Destruction Processes 407
- Investigation and Prevention of disasters is a Complex Task. *Paper Discussion* 423
- 

### From the Researcher's Notebook

*V.M. Pischalnik, I.G. Minervin, V.A. Romanyuk*

- The Ice Conditions Changes in some Areas of the Okhotsk Sea during the Period of Warming 429
- 

### Review

*M.V. Krylov*

- The Evolutionary Unity of Inanimate Nature and Living Organisms 441

*R.A. Kurbanov*

- Modern Forms of Regional Integration through the Prism of Eurasian Law 449
- 

### Problems of Ecology

*S.V. Avakyan*

- Supramolecular Physics of Environment: Climate and Biophysical Phenomena 458
- 

### Bygone Times

*Yu.V. Kudrina*

- The Development of the Scientific Knowledge in Russia during the Reign of Emperor Alexander III 467
- 

### Profiles

*V.M. Bautin*

- True Aristocrat in the Science and Life. *The 200th Anniversary of the Birth of Academician N.I. Zheleznov* 474
- 

### Official Section

- Decisions of the RAS Presidium. Anniversaries. Awards and Prizes 483
- The 2017 Gold Medals for Outstanding Achievements in Popularization of Scientific Knowledge 488
- 
-

С КАФЕДРЫ  
ПРЕЗИДИУМА РАН

ОБОБЩЁННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ  
ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ

© 2017 г. Н.А. Махутов

*Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия*

e-mail: kei51@mail.ru

Поступила в редакцию 15.07.2016 г.

9 февраля 2016 г. на заседании Президиума РАН было заслушано и обсуждено научное сообщение члена-корреспондента РАН Н.А. Махутова, посвящённое приоритетным фундаментальным междисциплинарным исследованиям и прикладным разработкам по взаимоувязанному обоснованию ресурса, живучести и безопасности уникальных объектов с использованием обобщённых закономерностей процессов деформирования и разрушения. Показано, что решение названных задач применительно к уникальным объектам, которые используются в традиционной, атомной и термоядерной энергетике, ракетно-космическом комплексе, авиации, высокоскоростном и тяжеловесном железнодорожном транспорте, в составе оборудования нефтегазохимии и при разработках на шельфе, связано с необходимостью в дополнение к традиционным подходам учитывать возможность возникновения и развития аварийных и катастрофических ситуаций. Поэтому в современных расчётах одновременно используются традиционные (прочность, ресурс, износостойкость, хладостойкость, сейсмостойкость) и новые критерии (живучесть, безопасность и защищённость с использованием критериев риска). Благодаря этому анализируются новые области предельных состояний, связанных с экстремальными внешними воздействиями и внутренними факторами.

**Ключевые слова:** прочность, ресурс, надёжность, живучесть, риск, безопасность, напряжение, деформация, повреждение, разрушение, объект, авария, катастрофа.

DOI: 10.7868/S0869587317050012

Исследование и обобщение линейных и нелинейных закономерностей процессов деформирования, повреждения и разрушения было и остаётся одной из важнейших фундаментальных задач Академии наук, без решения которой невозможна разработка прикладных проблем обоснования ресурса, живучести и безопасности действующих уникальных объектов и перспективных проектов в нашей стране. основоположниками обобщённых закономерностей механики деформируемых сред были выдающиеся учёные Л. Эйлер, И.Г. Бубнов, Б.Г. Галёркин,

С.П. Тимошенко, Н.И. Мухелишвили, Л.И. Седов, А.Ю. Ишлинский, С.А. Христианович, Ю.Н. Работнов, С.В. Серенсен. В Академии наук СССР академиками и генеральными конструкторами А.Н. Крыловым, А.Н. Туполевым, С.П. Королёвым, А.П. Александровым, П.О. Сухим, А.А. Благонравовым были созданы уникальные образцы новой техники гражданского и оборонного назначения. Обусловленное бурным развитием промышленности создание в 30-е годы XX в. Отделения технических наук АН СССР, а в XXI в. на его основе – Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН потребовало проведения новых фундаментальных исследований междисциплинарного и межотраслевого характера. В ведущих институтах АН СССР/РАН по проблемным планам и программам были получены выдающиеся результаты мирового уровня в решении классических задач прочности, устойчивости, жёсткости, долговечности для большинства отраслей промышленности и областей новой техники. В числе этих институтов Объединённый институт высоких температур РАН (ОИВТ), Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН



МАХУТОВ Николай Андреевич – член-корреспондент РАН, председатель Научного совета по проблеме “Надёжность, долговечность и безопасность технических систем” РАН, главный научный сотрудник ИМАШ РАН и НИИ “Транснефть”, советник РАН.

(ИПМ), Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ), Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (ИПМех), Институт прикладной механики РАН (ИПРИМ), Институт проблем машиноведения РАН (ИПМаш).

Разработка и реализация технических проектов в последние десятилетия XX в. и первые десятилетия XXI в. сопровождаются постановкой новых фундаментальных задач определения ресурса, живучести и безопасности уникальных объектов. Особенность этих задач связана с тем, что в новых, в частности уникальных, проектах необходимо учитывать возможность возникновения и развития аварийных и катастрофических ситуаций. Это относится к традиционной, атомной и термоядерной энергетике, ракетно-космическим комплексам ближнего и дальнего космоса, авиации, судостроению, высокоскоростному и тяжеловесному железнодорожному транспорту, нефтегазохимии, разработкам на шельфе. Реализуемые сегодня проекты требуют физического и математического моделирования тяжёлых аварий и катастроф, частота возникновения которых составляет от  $10^1$  до  $10^{-2}$  в год, человеческие потери (гибель или увечья) – сотни и тысячи человек, экономический ущерб – от десятков тысяч до сотен миллиардов рублей. Чрезвычайные ситуации могут иметь локальный, объектовый, местный, региональный, национальный, глобальный или планетарный масштаб и природный, техногенный или антропогенный характер и нуждаются во взаимоувязанных исследованиях в области механики, математики, физики, химии, биологии, социологии, экономики катастроф.

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, объекты техносферы, начиная от массовых объектов технического регулирования и опасных производственных объектов и кончая критически и стратегически важными объектами гражданской и оборонной сферы, должны одновременно удовлетворять традиционным (прочность, ресурс, износостойкость, хладостойкость, сейсмостойкость) и новым комплексным требованиям (живучесть, безопасность и защищённость от катастроф с использованием критериев риска). С этой целью в Российской академии наук исследуются и формируются новые области предельных состояний, связанных с экстремальными внешними и внутренними воздействиями и экстремальными реакциями объектов на катастрофические процессы.

На базе фундаментальных исследований РАН во взаимодействии с головными научно-исследовательскими институтами ведущих отраслей (ЦАГИ, НИКИЭТ, ЦНИИМАШ, НИЦ КИ, ВНИКТИ, ВНИИЖТ, ВНИИГАЗ, ЦНИИТМАШ, ВИАМ, ЦИАМ) была предложена система определяющих уравнений и их параметров для нормативного

расчётно-экспериментального определения указанных выше эксплуатационных характеристик уникальных объектов: реакторов ВВЭР, БН, РБМК, термоядерных реакторов Т-10, Т-14, Т-15, “Ангара-5”, РКК “Энергия–Буран”, “Протон”, ЖРД, летательных аппаратов, экранопланов, космодромов.

В начале XXI в., согласно решениям Совета безопасности и Государственного совета РФ, Российская академия наук совместно с МЧС России, Росатомом, Роскосмосом, РусГидро занялась принципиально новой проблемой обеспечения защищённости от катастроф критически и стратегически важных объектов, влияющих на безопасность регионов, отраслей и страны в целом. В соответствии с поручениями Президента РФ, решениями Общего собрания РАН и рекомендациями Научного совета РАН по прогнозированию были обоснованы количественные критерии комплексной безопасности, учитывающие стратегические риски (критические, приемлемые и формирующиеся) и интегральное проявление человеческого, техногенного и природного факторов. Результаты фундаментальных междисциплинарных исследований РАН и прикладных межотраслевых разработок были отражены в серии научных и методических публикаций и в уникальном 50-томном издании “Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты” [1], а также в деятельности Национального центра управления в кризисных ситуациях.

Сегодня Российская академия наук может предложить научно обоснованные, базирующиеся на фундаментальных закономерностях развития человека, природы и техносферы подходы к реализации двух стратегических приоритетов 2016–2017 гг. – повышения жизненного уровня населения и обеспечения национальной безопасности, закреплённых в Стратегии национальной безопасности РФ, ФЗ “О безопасности в Российской Федерации” (№ 390–ФЗ) и ФЗ “О стратегическом планировании в Российской Федерации” (№ 172–ФЗ). Эти подходы отвечают также первому приоритету ООН на 2015–2030 гг. по снижению рисков стихийных бедствий и целям государственных программ научных и прикладных исследований в Российской Федерации на период до 2025–2030 гг. Ниже будут представлены результаты фундаментальных и прикладных изысканий, полученные в течение последних 50 лет преимущественно в ИМАШе РАН во взаимодействии с другими академическими и головными отраслевыми институтами – атомной и тепловой энергетике, ракетно-космической и авиационной техники, транспорта, нефтегазохимии, общего и специального машиностроения, составляющими основание современного обеспечения безопасности функционирования уникальных объектов техносферы.

### ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ, ПОВРЕЖДЕНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Нашей стране в ближайшее время предстоит решать, какие направления фундаментальных исследований и прикладных разработок она будет развивать и как при этом учитывать тот опыт, который был накоплен в процессе функционирования уникальных объектов техносферы. Аварии на атомных электростанциях в Три-Майл-Айленд (США), Чернобыле (СССР), Фукусиме (Япония), катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС, авиационные происшествия, аварии на морских платформах и судах потребовали пересмотра многих программ и направлений развития науки, техники и технологий.

Создание космических аппаратов новейших типов, в частности, мощных ракет и ракетных систем “Энергия”, “Буря”, авиационно-космических систем, также дало импульс развитию новых направлений в науке. Например, проект многоразовой авиационно-космической системы “МАКС”, который реализовывался в СССР в 1970–1980-е годы, в настоящее время с меньшим размахом и меньшим успехом повторяется в США. Тем временем РАН совместно

с Роскосмосом и Росатомом разрабатывает уникальный проект ядерной энергетической установки мегаваттного класса для дальних космических полётов. Термоядерная энергетика – импульсные термоядерные реакторы, токамак-реакторы – в свою очередь порождает много новых фундаментальных и прикладных задач, в том числе связанных с обеспечением безопасности эксплуатации.

Прошлые техногенные катастрофы определяют и представление о проблемах, которые необходимо будет решать в области высокоскоростного и тяжеловесного транспорта, авиационной техники – современных гражданских и военных самолётов четвёртого и пятого поколений. То же относится к развитию нефтегазохимического комплекса, особенно когда речь идёт о разработках в Сибири и на шельфе.

Обобщая огромный опыт, накопленный в нашей стране и в мире, Российская академия наук совместно с МЧС России, Ростехнадзором и отраслевыми министерствами построила общую картину развития техносферы с учётом аварий и катастроф (рис. 1). Символами на рисунке обозначены: АЭС – атомная электростанция, ГЭС – гидроэлектростанция, ТЭС – тепловая электростанция, СПГ – предприятие по сжижению природного газа, МТ – магистральный

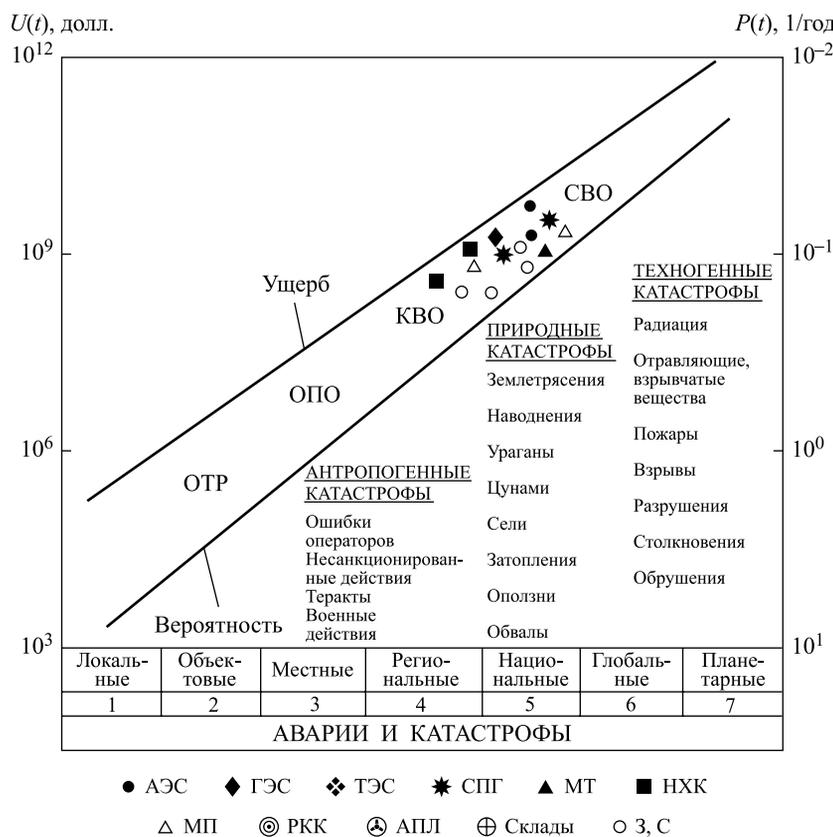


Рис. 1. Ущерб и периодичность тяжёлых катастроф на уникальных объектах: ядерных, военных, энергетических, химических, строительных, металлургических, транспортных, трубопроводных



Рис. 2. Основы теории катастроф и анализа их сценариев и рисков

трубопровод, НХК – нефтехимический комплекс, МП – металлургическое предприятие, РКК – ракетно-космический комплекс, АПЛ – атомная подводная лодка, З, С – здания, сооружения. На левой шкале диаграммы показаны ущербы  $U(t)$ , возникающие при авариях и катастрофах (внизу – тысячи долларов, вверху – триллионы). Справа показана периодичность (частота)  $P(t)$  возникновения тех или иных аварий на уникальных объектах. Эти объекты в соответствии с законодательством пришлось разделить по параметрам ущербов и периодичности возникновения аварий на обычные массовые объекты технического регулирования (ОТР) и опасные производственные объекты (ОПО). В 2003 г. по предложению Академии наук и МЧС было введено понятие критически важных объектов (КВО), которое используется сегодня в документах Совета безопасности РФ, Государственного совета РФ и Правительства РФ. На диаграмме также отражены стратегически важные объекты (СВО), чрезвычайные ситуации на которых сказываются на функционировании всей инфраструктуры нашей страны, а не только промышленной, что было отмечено Правительственной и Парламентской комиссиями после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г. Предпринятое обобщение перенесло проблемы безопасности техносферы из области технических наук в область междисциплинарных исследований

(рис. 2). И в этом смысле такие фундаментальные науки, как математика, механика, химия, биология, социология, экономика катастроф, становятся сферой получения новых фундаментальных знаний для решения задач обеспечения техногенной, природной, социальной и национальной безопасности, технологической независимости и дальнейшего социально-экономического развития.

За последнее столетие наша страна и другие государства мира прошли в решении комплексных научно-технических проблем целый ряд этапов, связанных с проработкой таких критериев, как прочность, ресурс, износостойкость (характеризующих ОТР), хладостойкость, сейсмостойкость, надёжность (важных при спецификации ОПО), живучесть, безопасность, риск (необходимость которых обусловлена появлением класса КВО) (рис. 3). Для СВО была показана важность проблем обеспечения защищённости от тяжёлых катастроф с использованием критериев риска. Упомянутые техногенные катастрофы в полной мере показали, что научная и нормативная база, а также экономическое и кадровое обеспечение этих комплексных междисциплинарных и межотраслевых проблем и в первой четверти XXI в. остаются недостаточными. Эта идея на рисунке 3 показана кривой использования знаний на практике. Видно, что по мере усложнения техники и достижения разных уровней в развитии фундаментальной и прикладной науки применение решаемых задач прочности, жёсткости, устойчивости через параметры ресурса, живучести, надёжности перешли в левую область – новую область безопасности, рисков и защищённости с постепенным увеличением степени применения на практике знаний (отношение числа объектов, для которых выполнен соответствующий анализ от прочности до защищённости, к общему числу функционирующих объектов) от  $10^0$  до  $10^4$  (согласно нормам, стандартам, законам).

По мере усложнения проблем нарастают число и сложность критериев обоснования всех параметров (от традиционной прочности до перспективной защищённости), а значит, объём и важность исследований как в фундаментальных, так и в прикладных направлениях с применением традиционных и новых методов. В число базовых критериев включены напряжения  $\sigma$ , деформации  $e$ , ресурс, долговечность, скорость роста трещин  $\ell$  по числу циклов  $N$  и времени  $\tau$ , коэффициенты интенсивности напряжений  $K_I$ , запасы  $n$ , ущербы  $U$ , вероятности  $P$ , риски  $R$  и защищённость  $Z$ . Эти параметры являются функцией времени и стадий жизненного цикла объектов. При этом наиболее перспективным (о чём свидетельствует рис. 3) оказывается направление изначального обеспечения защищённости от катастроф с применением всех перечисленных критериев.

На рисунке 4 в нижней области представлено состояние техники и наших знаний в сфере традиционного расчёта и анализа объектов с точки зрения их проектных характеристик в нормальных ситуациях, а в верхней – в сфере, касающейся аварийных и катастрофических состояний. Как видно из рисунка, если в первом случае многое сделано, то во втором наблюдается недостаток фундаментальных знаний, которые ранее обеспечивались целым рядом теорий, начиная от теории сопротивления материалов и заканчивая теорией катастроф. Сегодня Российская академия наук сосредоточивает своё внимание на решении задач верхнего уровня в нелинейной, связанной и комплексной постановке для последовательного рассмотрения штатных, связанных с повреждениями, аварийных и катастрофических ситуаций.

Структура прикладных исследований и разработок в области штатных ситуаций обосновывается и ведётся в соответствии с принятыми и согласованными стандартными методиками, когда анализируются внешние воздействия (с учётом факторов и условий эксплуатации – числа циклов  $N$ , времени  $\tau$ , радиационных потоков  $\Phi$ , дефектов  $\ell$ , температур  $t$ ) и реакция объектов ( $S$ ) на эти внешние воздействия. Анализ области опасных и недопустимых критических состояний опирается на теорию катастроф. Переходы из одной области в другую – это и есть одна из фундаментальных задач современной академической науки.

Для штатных (нормальных) ситуаций обычно используются простые линейные соотношения теории упругости, линейной теории колебаний и механики разрушения, а в инженерной практике – различные простейшие методы анализа. По мере того как растут нагрузки и наблюдается переход в опасные, сначала аварийные, а затем катастрофические, состояния, в анализ вводятся сложные нелинейные, связанные термомеханические процессы деформирования и разрушения с полным набором критериев. Эта сложнейшая часть исследований проводится сейчас в передовых отраслях, в первую очередь атомной энергетике, ракетно-космической, авиационной и шельфовой технике. Эти же подходы начинают применяться в гражданских отраслях с серийным производством.

Характеристики прочности, жёсткости, устойчивости, долговечности и ресурса по расчётным кривым показывают снижение предельных нагрузок на объекты при увеличении таких параметров, как время  $\tau$ . Сегодня время до разрушения при проектировании для ряда объектов изменяется от секунд (ракетная и импульсная техника) до 60–100 лет (гидротехнические сооружения, энергетика, транспорт). При этом задача оценки управления и продления ресурса становится чрезвычайно важной. Здесь невозможно полагаться на простейшие интерполяционные подходы, основанные на



Рис. 3. Структура и направления развития методов нормирования

Примечание. Используются следующие сокращения: ГОСТ – Государственный стандарт, ОСТ – отраслевой стандарт, СНиП – строительные нормы и правила, ФЗ ТР – Федеральный закон о техническом регулировании, ФЗ ПБ – Федеральный закон о промышленной безопасности, ФЗ ЯРБ – Федеральный закон о ядерной и радиационной безопасности, НСТ – национальный стандарт, СП – свод правил, ФНиП – федеральные нормы и правила

экспериментальных данных. Необходимо широкое использование математического и физического моделирования временных процессов деформирования, повреждений и разрушения (см. рис. 4).

Одной из важнейших по-прежнему остаётся проблема хладостойкости объектов. Совершенствование криогенной техники и низкотемпературной сверхпроводимости, перемещение промышленного потенциала России в Сибирь и на северные территории, освоение Арктики потребовали развития нового направления в механике деформирования и разрушения, когда в расчёт стали приниматься критические температуры для соответствующих хрупких, квазихрупких и вязких состояний объектов с позиций нелинейной механики разрушения. Это сделало возможным реализацию новых уникальных проектов в энергетике, добыче полезных ископаемых, нефтегазохимии, на транспорте, магистральном трубопроводном транспорте, морских платформах.

Диагностика объектов с учётом требований ресурса, живучести, безопасности, рисков начинает выглядеть по-другому. Прежде старались удержаться в области проектных нормативно допускаемых дефектов  $e$ , но реальность показывает, что такая стратегия не всегда экономически и технологически оправдана. Обеспечение бездефектного состояния объектов – чрезвычайно дорогостоящее мероприятие. Необходим анализ предельных состояний ответственных объектов

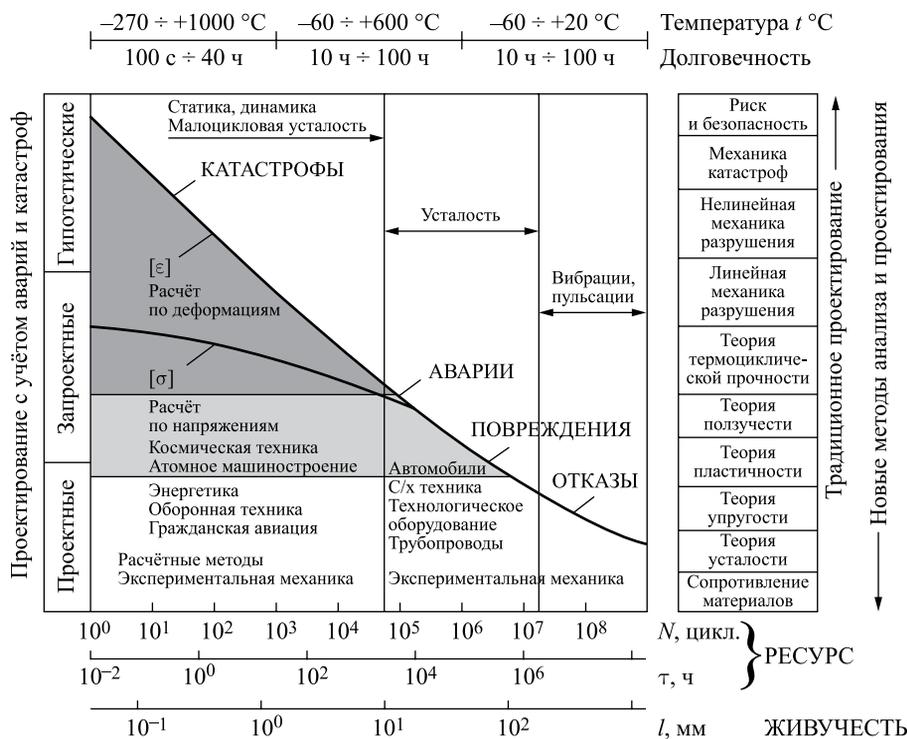


Рис. 4. Обобщённая диаграмма опасных и предельных состояний по научным направлениям: статистической и циклической прочности, теории катастроф, техногенной безопасности

с большой технологической и эксплуатационной дефектностью. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС, результаты анализа которой обобщены Минэнерго России, РусГидро, Ростехнадзором и РАН в трёхтомном издании [2], показала, что в данной сфере существуют серьёзные пробелы и проблемы.

### ФОРМИРОВАНИЕ РАСЧЁТНЫХ СХЕМ И РАСЧЁТНЫХ СЛУЧАЕВ

Научное обоснование прочности, ресурса, живучести, безопасности потребовало разработки целой системы определяющих уравнений. Если первые уравнения – по запасам прочности и ресурса (которыми пользовались в предвоенные и послевоенные годы) – были простейшими, то во второй половине XX в. возникла необходимость в новых представлениях, относящихся к кратковременной, длительной, циклической, высокоскоростной, высокотемпературной и низкотемпературной областям. Мы перешли от расчёта в напряжениях  $\sigma$ , принятого в обычной инженерной практике и справедливого для линейной механики деформирования и разрушения, к расчёту в упругопластических деформациях  $e$ . Сейчас он включён в целый ряд норм, в том числе атомных, и будет продолжать развиваться, в частности, для случаев возникновения экстремальных ситуаций по критериям напряжения, деформации, числа циклов и времени, радиационных потоков ( $\sigma, e, N, \tau, \Phi$ ), ведущим

к тяжёлым авариям и катастрофам на всех типах объектов от ОТР до СВО (см. рис. 1, 3).

Предельные состояния на всех стадиях жизненного цикла (проектирование, изготовление, эксплуатация), которые учитываются при обосновании прочности, ресурса, надёжности, живучести, безопасности, рисков и защищённости объектов, требуют всё более сложных, всё более насыщенных различными факторами расчётных уравнений. Сложность решаемых линейных, нелинейных и связанных задач, задач математического и физического моделирования становится отдельной областью фундаментальных знаний, которые всё шире используются в практике создания уникальных объектов техносферы.

Эффекты концентрации напряжений, краевые задачи теории упругости и пластичности, решения которых были получены отечественной научной школой, в настоящее время трансформировались в анализ очень сложных исследовательских, конструкторских, технологических, социально-экономических проблем, сопряжённый с применением аналитических, численных и экспериментальных методов для стадий нелинейного поведения материалов и конструкций, когда их свойства начинают сильно меняться в процессе изготовления и эксплуатации с учётом всех сочетаний предельных состояний.

Например, для сосудов давления в атомной энергетике, ракетно-космической технике, нефтегазохимии при

широком изменении эксплуатационных давлений  $P^3$  деформации  $e$  и напряжения  $\sigma$  линейно связаны с  $P^3$  (через закон Гука с модулем упругости  $E$ ). Дальнейший рост  $P^3$  создаёт быстрое увеличение деформаций и переход в область опасных повреждений для мало- и высокопластичных материалов. При этом коэффициенты концентрации деформаций  $K_e$  существенно превышают теоретические коэффициенты концентрации  $\alpha_\sigma$  в упругой области, а коэффициенты концентрации напряжений  $K_\sigma$  снижаются ( $K_\sigma \leq \alpha_\sigma \leq K_e$ ). При переходе от статического нагружения к циклическому с увеличением времени нагружения  $\tau$  необходим анализ областей предельных состояний для металлических материалов с различным легированием (Cr, Ni, Mb и др.). Для низкотемпературной области в расчётный анализ вводятся первая и вторая критические температуры, характеризующие переход из вязких в опасные квазихрупкие и хрупкие состояния.

Живучесть следует понимать сегодня с учётом того, что на практике невозможно удержать высокорисковые объекты инфраструктур на заранее допускаемых уровнях повреждений  $d$  и дефектов  $\ell$ , в экстремальных ситуациях значения соответствующих параметров будут оказываться большими, чем нам хотелось бы. В этих условиях важным становится умение рассчитать, оценить, исследовать и обосновать живучесть объектов по линейной и нелинейной механике разрушения с применением новейших систем дефектоскопии, дефектометрии, фрактодиагностики и ремонта.

### СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРАВНЕНИЙ И ПАРАМЕТРОВ

Реализация представленных на рисунках 1–4 расчётных принципов, схем, случаев и критериев потребовала большого комплекса фундаментальных исследований и постепенного совершенствования методов расчётного обоснования прочности, ресурса, рисков и безопасности. Так, выбор основных размеров всех несущих элементов объектов техносферы опирается на простейшие расчёты несущей способности  $P^3$  в эксплуатации по выражению

$$\sigma^3 = f(P^3) \leq \left\{ \frac{\sigma_T}{n_T}, \frac{\sigma_B}{n_B} \right\} \quad (1)$$

с введением запасов прочности  $n$  по напряжениям  $\sigma$  (по пределам текучести  $\sigma_T$  и прочности  $\sigma_B$ ). Для случаев циклического  $N^3$  и низкотемпературного  $t^3$  эксплуатационного нагружения в середине XX в. стали использоваться выражения

$$\sigma_\alpha^3 = f(P^3, N^3) \leq \left\{ \frac{\sigma_{-1}}{n_\sigma (K_\sigma \cdot \sigma_\alpha^3) \varepsilon_\sigma + \psi_\sigma \cdot \sigma_m^3} \right\} \quad (2)$$

и

$$\sigma_{\max}^3 = f(P^3, N^3, t^3) \leq \left\{ \frac{S_K}{n_S \cdot K_\sigma} \right\}, \quad (3)$$

где  $\sigma_a^3, \sigma_m^3, \sigma_{\max}^3$  – амплитуда, среднее и максимальное эксплуатационное напряжение,  $K_\sigma$  – эффективный коэффициент концентрации напряжений,  $S_K$  – сопротивление отрыву,  $\sigma_{-1}$  – предел выносливости,  $\varepsilon_\sigma$  – коэффициент чувствительности к абсолютным размерам,  $\psi_\sigma$  – коэффициент чувствительности к асимметрии цикла.

Для объектов атомной техники в 1960-е годы применялись расчётные уравнения не только в напряжениях  $\sigma^3$ , но и в деформациях  $e^3$  с введением критических напряжений  $\sigma_K$ , деформаций  $e_K$ , чисел циклов  $N_K$  и комплекса характеристик механических свойств – пределов текучести  $\sigma_T$ , предельной пластичности  $\psi_K$ , показателей упрочнения  $m$  в упругопластической области.

$$\left\{ \sigma_e^3, e_e^3, N_e^3 \right\} \leq \left\{ \left( \frac{\sigma_K}{n_\sigma} \right) \left( \frac{e_K}{n_e} \right) \left( \frac{N_K}{n_N} \right) f(\sigma_T, \psi_K, m) \right\}. \quad (4)$$

На рубеже XX–XXI вв. указанные силовые расчёты по (1)–(3) в напряжениях были переведены в расчёты по (4) – по деформациям  $e^3$  и  $e_K$  как в упругой, так и в упругопластической стадии.

Переход к высоким температурам в авиации, ракетно-космической технике и энергетике в последней четверти XX в. был связан с использованием уравнений для длительной прочности  $\sigma_{qn}$  с временами эксплуатации  $\tau^3$  от  $10^{-3}$  до  $3 \cdot 10^5$  ч:

$$\left\{ \sigma^3, e^3, \tau^3, N^3 \right\} \leq \left\{ \left( \frac{\sigma_{дл}^T}{n_\sigma}, \frac{e_K^T}{n_e}, \frac{\tau_K}{n_\tau} \right), f(m_\tau) \right\}, \quad (5)$$

где  $m_\tau$  – показатель упрочнения при сочетании упругопластических деформаций и деформаций ползучести.

В 1970–1980-е годы была развита возможность оценки живучести по критериям трещиностойкости на базе выражения

$$\left\{ \sigma^3, e^3, K_I^3, K_{Ic}^3 \right\} \leq \left\{ \frac{\sigma_K}{n_\sigma}, \frac{e_K}{n_e}, \frac{K_{Ic}}{n_K}, \frac{K_{Iec}}{n_{Ke}} \right\} \quad (6)$$

с учётом упругих и упругопластических деформаций  $e^3$  и  $e_K$  с одновременным использованием коэффициентов интенсивности эксплуатационных напряжений  $K_I^3$  и деформаций  $K_{Ic}^3$  линейной и нелинейной механики разрушения с критическими величинами  $K_{Ic}$  и  $K_{Iec}$ .

В последние два десятилетия в условиях резкого увеличения доли стареющих уникальных объектов и снижения шансов их плановой замены возникла проблема расчётно-экспериментального определения исходного и остаточного ресурса в авиации, энергетике, тяжёлом и транспортном машиностроении. Соответствующие задачи решались по выражениям с использованием кинетических диаграмм

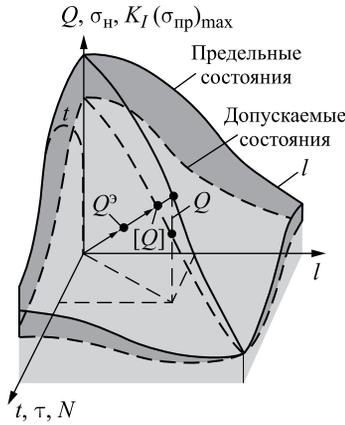


Рис. 5. Схема предельных и допускаемых состояний при оценках прочности и ресурса

статического и циклического разрушения, описывающих скорость роста трещин по числу циклов ( $dl/dN$ ) и времени ( $dl/d\tau$ ) до критических значений:

$$\begin{aligned} \{ \sigma^{\circ}, e^{\circ}, K_{Ie}^{\circ}, N^{\circ}, \tau^{\circ}, l^{\circ} \} = \\ = f(P^{\circ}, t^{\circ}, l^{\circ}) \leq \left\{ \frac{\sigma_K}{n_{\sigma}}, \frac{e_K}{n_e}, \frac{N_K}{n_N}, \frac{\tau_K}{n_{\tau}}, \frac{t_K}{n_t} \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\{ N_K, \tau_K \} = F \left\{ \Delta K_{Ie}^{\circ}, \left( \frac{dl^{\circ}}{dN}, \frac{dl^{\circ}}{d\tau} \right) \right\}, \quad (8)$$

где  $\Delta K_{Ie}$  – размах коэффициента интенсивности деформаций.

Обобщённые расчётные зависимости по критериям локальной прочности  $[\sigma]$  – выражение (9), и долговечности  $[M]$  – выражение (10), с переменными по (11) и (12) коэффициентами концентрации напряжений  $K_{\sigma}$  и деформаций  $K_e$  были сформированы с введением соответствующих запасов  $n_{\sigma}$  и  $n_N$  как для упругих, так и для пластических состояний:

$$[\sigma_N] \min = \left\{ \frac{\sigma_B^t}{n_b}, \frac{\sigma_{0,2}^t}{n_{0,2}}, \frac{\sigma_{B\tau}^t}{n_{д.п}}, \frac{\sigma_n^t}{n_n} \right\}, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} [\sigma_a^*] = & \frac{2,3E^t}{2n_{\sigma}(4[N])^m} \lg \frac{100}{100 - \psi^t} + \\ & + \frac{\sigma_B^t}{n_{\sigma} \left[ (4[N])^{m_{\sigma}} + (1+r)/(1-r) \right]}, \\ [\sigma_a^*] = & \frac{2,3E^t}{2(4n_N[N])^m} \lg \frac{100}{100 - \psi^t} + \\ & + \frac{\sigma_B^t}{(4n_N[N])^{m_{\sigma}} + (1+r)/(1-r)}, \end{aligned} \quad (10)$$

$$K_{\sigma} = \frac{\alpha_{\sigma}^{2m_{\sigma}/(1+m_{\sigma})}}{\bar{\sigma}_n^{(1-m_{\sigma})/(1+m_{\sigma})} (\alpha_{\sigma} \bar{\sigma}_n)^{n m_{\sigma} (1-m_{\sigma}) [1 - (\bar{\sigma}_n - 1/\alpha_{\sigma})]/(1+m_{\sigma})}}, \quad (11)$$

$$K_e = \frac{\alpha_{\sigma}^{2/(1-m_{\sigma})} \bar{\sigma}_n^{(1-m_{\sigma})/(1+m_{\sigma})}}{(\alpha_{\sigma} \bar{\sigma}_n)^{n(1-m_{\sigma}) [1 - (\bar{\sigma}_n - 1/\alpha_{\sigma})]/(1+m_{\sigma})}}. \quad (12)$$

Расчётные зависимости для количественного определения живучести несущих элементов с растущими дефектами  $l$  потребовали введения запасов по критическим температурам  $[\Delta t]$  по выражению (13) и коэффициентам интенсивности выражений  $n_k$  в системе выражений (14) с учётом роста трещин ( $dl/dN$ ) и ( $dl/d\tau$ )

$$[t] = t_{k1} + [\Delta t]_1 \quad \text{или} \quad [t] = t_{k2} + [\Delta t]_2,$$

$$t_k = t_k^n + \Delta t_N + \Delta t_{\text{ср}} \quad (13)$$

$$K_I^* = (\sigma_1)_{\text{пр}} \sqrt{\pi l} \cdot f_{Ik}, \quad \bar{K}_{Ie} = \bar{K}_I^{p_{Ke}},$$

$$[K_I^*] = (K_{c2}^* / n_k) \exp \{ \beta_k ([t] - t_{k2}) \},$$

$$p_{Ke} = 2 - n(1 - m^t)(1 - \bar{\sigma}_n) / (1 + m^t),$$

$$[K_I^*] = (K_{c2}^* / n_k)^{p_k} \left\{ \exp [\beta_{\sigma} ([t] - t_{k2}) / (t_{k1} - t_{k2})] \right\}^{p_t},$$

$$dl/dN = C_{Nf} (\Delta \bar{K}_I)^{\gamma_N}, \quad (14)$$

$$\frac{dl}{d\tau} =$$

$$= \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{2(1 + \mu^t)}{3} - \left( \frac{\bar{K}_{Ie}}{\bar{e}_f^t} \right) \right]^2 \frac{1}{1 - \frac{1}{2\pi I_0} \left[ \frac{2(1 + \mu^t)}{3} \left( \frac{\bar{K}_{Ie}}{\bar{e}_f^t} \right) \right]^2},$$

$$[K_I^*] = (K_{c2}^* / n_k)^{p_k} \left\{ \exp [\beta_{\sigma}] \right\}^{p_t}.$$

Одной из конечных стадий этого анализа оказывается построение трёхмерных поверхностей предельных и допустимых состояний, когда вектор внешних и внутренних воздействий  $Q$  и соответствующие ему номинальные напряжения  $\sigma_n$ , коэффициенты интенсивности напряжений  $K_I$ , максимальные приведённые напряжения  $(\sigma_{\text{пр}})_{\text{max}}$  должны оставаться в допускаемой зоне  $Q \leq [Q]$ . В эту же допускаемую зону должны попадать эксплуатационные факторы (температура  $t$ , время  $\tau$ , число циклов нагружения  $N$ ) и размеры дефектов  $l$  (рис. 5).

Крайне важно, чтобы методы технической диагностики, которые развивались академическими и отраслевыми институтами, продолжали совершенствоваться с использованием возможности определения в заданное время  $\tau$  напряжений  $\sigma$ , деформаций  $e$ , температур  $t$  и состояния дефектов  $l$  (их максимальных, минимальных и амплитудных значений). Каждый метод технической диагностики из числа как хорошо известных, так и новых обладает своими возможностями и ограничениями (табл. 1). Поэтому

Таблица 1. Возможности методов диагностики для анализа параметров состояния объектов

Методы диагностики ресурса										
Метод	Параметр	Напряжения			Температура			Дефекты		
	Величина $\sigma_a$	Циклы $N$	Время $\tau$	Величина $T$	Цикл $\tau_n$	Время $\tau$	Размер $l$	Форма $a/l$	Место $S$	
Ультразвуковая дефектоскопия	- +	-	-	-	-	-	++	- +	- +	
Магнито-порошковая дефектоскопия	-	-	-	-	-	-	+ -	-	-	
Визуальный контроль	-	-	-	-	-	-	+ -	-	-	
Рентген	- +	-	-	-	-	-	- +	- +	- +	
Виброметрия	+ -	-	-	-	-	-	+ -	-	+ -	
Акустический контроль	+ -	-	-	-	-	-	+ -	-	+ -	
Акустическая эмиссия	++	-	-	-	-	-	++	+ -	++	
Голография	+ -	++	+ -	+ -	-	-	-	- +	+ -	
Термовидение	+ -	+ -	++	++	++	++	+ -	-	+ -	
Томография	-	-	-	-	-	-	++	++	++	
Натурная тензометрия	++	++	++	++	++	++	+ -	+ -	+ -	
Расчётные соотношения										
$N_p = f(\sigma_a, t, \tau, l, \Phi)$ – натурная тензометрия										
$T = f(\sigma_a, N, \tau, l)$ – термовидение										
$AЭ = f(\sigma_a, e_p, K_{Ie}, l)$ – акустическая эмиссия										
$G = f(\sigma_a, t, N, \tau)$ – голография										

Примечание. Плюсы показывают достоинства и возможности каждого метода, минусы – недостатки и ограничения.

для уникальных объектов не существует одноединственного простого и универсального метода диагностики, позволяющего решать комплексные задачи прочности, живучести и безопасности. Вместе с тем расчётным выражениям (11)–(14) в наибольшей степени отвечают натурная тензометрия, термовидение, акустическая эмиссия и голография.

Представленные расчётные комплексы создавались усилиями Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН и широко использовались в атомной, авиационной и ракетно-космической технике, тепловой и гидравлической энергетике и на транспорте. Более 50 лет Академия наук в лице ИМАШа РАН, работа с НИИ и КБ Минсредмаша, Минобщемаша, Минэнерго, Минавиапрома, Росатома и Роскосмоса, проводила подготовку и создание сложнейших

систем технической диагностики. Были разработаны уникальные тензо-термо-вибродатчики, регистрирующая и обрабатывающая техника, позволявшие исследовать поля напряжений и деформаций в реальных условиях эксплуатации – при воздействии радиации, высоких и криогенных температур в потоках высокотемпературного газа, пара, воды и жидкого металла. Эта техника сейчас широко применяется при статочных испытаниях.

Атомной промышленностью и Академией наук были проведены уникальные эксперименты по пуску головных образцов реакторов на тепловых (ВВЭР, РБМК) и быстрых нейтронах (БН) для атомных электростанций. Эти эксперименты до сих пор не знают аналогов ни в одной стране мира.

В импульсной термоядерной энергетике возникли задачи экстремального высокоскоростного

Таблица 2. Вероятности и ущербы возможных крупных аварий и катастроф

№	Тип объектов		Вероятности, 1 год			Ущерб, долл.
			Расчётные		Реальные	
			Проектные	Запроектные		
1	Реакторы	Активная зона	$10^{-6}$	$10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$10^{10}$
		Первый контур	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^9$
2	Ракетно-космические системы		$10^{-3}$	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$10^9$
3	Турбоагрегаты		$10^{-3}$	$10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$10^8$
4	Летательные аппараты		$10^{-3}$	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^7$
5	Трубопроводы (1000 км)		$10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$10^6$

электромагнитного воздействия электронными пучками, когда системы и конструкции, ответственные за технологию термоядерного синтеза, образуют фазовые переходы от твёрдых деформирующих тел к жидким, газообразным, плазменным состояниям. Эта задача во всей своей сложности была проанализирована при работе над “Ангарой-5”.

Термоядерные реакторы с магнитным удержанием плазмы поставили новую проблему, получившую название “проблема потери состояния сверхпроводимости”. В сверхпроводящих системах токамака возникают деформации определённого уровня. Оказывается, что если эти деформации составляют  $\geq 0.5\%$ , то сверхпроводимость теряется и возникает аварийная или катастрофическая ситуация. В системах технической диагностики (тензо-термометрия) при воздействиях переменных электромагнитных полей в 15–20 Тл паразитные шкалы в миллионы раз превышали полезные, получаемые первичными преобразователями измерительных систем. Аналогичные фундаментальные и прикладные задачи решались и для сверхперегрузок от аэрогидродинамических воздействий на экранопланы.

Большой интерес для Академии наук и КБ машиностроения представляла следующая задача из области ракетно-космического строительства. Гагаринский старт на космодроме “Байконур”, ресурс которого в соответствии с проектными расчётами составлял порядка 7 лет, в настоящее время работает в запредельной области – 700% исчерпания проектного ресурса. Положение требует непрерывного текущего обоснования живучести и безопасности Гагаринского старта на всех стадиях при повышении эксплуатационных воздействий. При этом на стартовых площадках и комплексах Байконура для ракетно-космических систем “Протон” один запуск иногда сопровождается образованием дефектов метровых

размеров, и каждый раз приходится принимать решение о возможностях следующих пусков.

При разработке системы “Энергия–Буран” и решении задач о напряжённо-деформированном состоянии и прочности возникла принципиально новая задача, которая была названа “предельное состояние по возгоранию”. Исследования напряжённо-деформированных состояний жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) для сверхмощной ракетной техники в условиях высоких температур, избытка кислорода, высоких давлений, пульсаций давления и температур явились задачей чрезвычайно важной, новой и интересной, поскольку термосвязанные процессы высокочастотного и контактного локального неупругого деформирования приводили к локальному росту температур на 500–800°C. При этом определяющей становилась скорость не разрушения, а возгорания металла, когда скорость горения достигала 500 мм/с.

Для авиационной техники новых поколений (это те работы, которые Академия наук вела с компанией “Сухой”) стояла задача расчётного и экспериментального обоснования возможности перехода к сверхзвуковым полётам, когда заметно повышаются локальные температуры и снижается ресурс.

Практически для всех объектов техносферы актуальной была и остаётся оценка локальных остаточных напряжений, возникающих от эксплуатационных перегрузок, сварки, наплавки. Их величины устанавливаются многими методами, но наиболее перспективные – голографические и методы оптически активных и тензочувствительных покрытий.

В действующих и новых российских нормативных документах, наряду с регламентацией параметров прочности, ресурса, живучести, всё более актуальными становятся представления и требования

по расчётному определению вероятностей аварийных и катастрофических ситуаций. Но случаи, когда возникали такого рода аварии и катастрофы, показали, что расхождения в требуемых нормами и реальных вероятностях достигали многих порядков (табл. 2). Новая научно-техническая идеология Академии наук предполагает совместное с ведущими предприятиями построение взаимоувязанной пирамиды или набора предельных состояний, новых критериев, уравнений и их параметров, по которым будет вестись дальнейший анализ безопасности, рисков и защищённости объектов от катастроф.

Таким образом, для уникальных объектов всякий раз необходимо контролировать нарастание рисков  $R(\tau)$  в процессе проектирования, изготовления, испытаний и эксплуатации, при переходе штатных состояний в аварийные и катастрофические. Риски  $R(\tau)$  связывают вероятность  $P(\tau)$  возникновения аварий и катастроф и сопутствующие им ущербы  $U(\tau)$ . Решения надо принимать, руководствуясь не только критериями прочности, живучести, ресурса и надёжности (см. рис. 2), как делалось десятилетиями, но в первую очередь кинетическими критериями живучести, безопасности и рисков.

В ближайшей перспективе совершенно по-новому будет поставлена задача расчётно-экспериментального обоснования и диагностики опасных и предельных состояний, когда традиционные методы диагностики – вибрационной, шумовой, акустической (см. табл. 1) – должны быть переведены на диагностический и мониторинговый анализ операторов, объектов и окружающей среды через спектральные характеристики их состояний. Это принципиально новая задача, над которой сейчас работают академические и ведущие отраслевые институты.

В последние годы согласно указам Президента РФ и решениям Совета безопасности РФ в Российской академии наук проводились исследования по научным основам прогнозирования и планирования. Их результаты использовались при разработках Федеральных законов “О стратегическом планировании в Российской Федерации” (2014) и “Стратегии национальной безопасности Российской Федерации” (2015). С этой целью сформулирована система определяющих выражений для оценки безопасности сложной социально-природно-техногенной системы через стратегические риски. Человеческий, техногенный и природный факторы входят в анализ рисков  $R(\tau)$ . Условие безопасности может быть записано в виде

$$R(\tau) = F\{P(\tau), U(\tau)\} \leq [R(\tau)]. \quad (15)$$

Совместные условия анализа и обеспечения безопасности представляются в форме

$$\begin{aligned} R(\tau) &\leq [R(\tau)] = F_R\{[P_R(\tau), U_R(\tau)]\} = \\ &= \frac{1}{n_R} R_c(\tau) = \frac{1}{n_R} F_c\{P_c(\tau), U_c(\tau)\} = \\ &= F_Z\{m_Z Z(\tau)\}. \end{aligned} \quad (16)$$

Требования к планированию и реализации мероприятий по обеспечению безопасности с учётом критериев риска имеют вид

$$Z(\tau) = m_Z^{-1} \{R_c(\tau) - [R_c(\tau)]\}. \quad (17)$$

В выражениях (15)–(17)  $P(\tau) = F_p\{P_N(\tau), P_T(\tau), P_S(\tau)\}$  – вероятности опасных процессов;  $U(\tau) = F_u\{U_N(\tau), U_T(\tau), U_S(\tau)\}$  – ущербы от опасных процессов;  $R(\tau) = F_R\{R_N(\tau), R_T(\tau), R_S(\tau)\}$  – риски опасных процессов;  $N$  – человеческий фактор;  $T$  – техногенный фактор;  $S$  – природный фактор;  $R(\tau)$  – фактический расчётный риск;  $R_c(\tau)$  – критический (неприемлемый) риск;  $[R(\tau)]$  – приемлемый риск;  $Z(\tau)$  – затраты на снижение риска;  $n_R$  – запасы по рискам ( $n_R = 2-5$ );  $m_Z$  – коэффициент эффективности затрат ( $2 \leq m_Z \leq 10$ ).

Количественные параметры стратегических рисков определяются по (15)–(17) через вероятности  $P(\tau)$  возникновения опасных процессов (кризисов, стихийных бедствий, аварий и катастроф) и сопутствующие им социально-экономические ущербы  $U(\tau)$ . Условием безопасности является удержание рисков  $R(\tau)$  на уровне, не превышающем приемлемые риски  $[R(\tau)]$ , которые в свою очередь устанавливаются через критические риски  $R_c(\tau)$  и запасы по рискам  $n_R$ . На этой основе будут рассчитываться обязательные необходимые затраты  $Z(\tau)$  на снижение суммарных (интегральных) рисков  $R_c(\tau)$  до приемлемых  $[R_c(\tau)]$  уровней через разницу самих рисков. Эта идеология получила отражение в Стратегии национальной безопасности и ряде федеральных законов по безопасности и стратегическому планированию. Соответствующие фундаментальные и прикладные разработки выполнены институтами РАН – ИМАШем, ИПМехом, ИПМашем, ИВТАНОм, СКТБ “Наука”, Институтом физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова РАН, Институтом проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, совместно с НИИ и КБ ведущих отраслей – ВНИИ ГОЧС НИЦ “Курчатовский институт”, НИКИЭТ, ОКБ “Гидропресс”, ЦНИИ КМ, ОКБМ, КБМ, ЦНИИТМАШем, ВНИИМЕТМАШем, ЦНИИМАШем, КБХА, НПО “Молния”, ЦАГИ, ЦИАМОм, ВИАМОм, КБ Сухого, Туполева, Ильюшина, ЦКТИ, НПО “Спектр”,

ВТИ, ВНИИЖТ, ВНИКТИ, ИрГУПСом, ВНИИГАЗом, НИИ “Транснефть”. Результаты были отражены в целой серии монографий, энциклопедий [3, 4], многотомных изданиях по экстремальным условиям циклических воздействий [5], ЖРД для ракетно-космических комплексов [6], атомной энергетике [7] и технической диагностике [8], проблемам прочности, ресурса, живучести и безопасности машин [9], машиностроению России [10], по главным закономерностям деформирования, повреждения и разрушения, лежащим в основе техногенной безопасности [11, 12].

Вся научная информация (академическая и отраслевая) направляется в Национальный центр управления в кризисных ситуациях, в Научный совет при Совете безопасности РФ, Экспертный совет МЧС России и Научный совет при Межгосударственном совете СНГ по чрезвычайным ситуациям. Общую координацию научных разработок после катастрофы на Чернобыльской АЭС с 1986 г. выполняет Рабочая группа при президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности. Результаты разработок отражаются в её ежегодных отчётах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. В 50 томах / Научный руководитель Н.А. Махутов. М.: МГОФ “Знание”, 1998–2015.
2. Разрушение гидроагрегата № 2 Саяно-Шушенской ГЭС: причины и уроки. Сборник материалов. В 3-х томах. М.: Гидроэнергетика России, 2013.
3. Машиностроение. Энциклопедия. В 40 томах. М.: Машиностроение, 1994–2012.
4. Гражданская защита: Энциклопедия. В 4-х томах. Изд. 2-е, перераб. и доп. Воронеж: РеалСоцПроект, МЧС России, 2009.
5. Исследования прочности при малоцикловом нагружении. Серия из 9 книг / Под ред. С.В. Серенсена, Н.А. Махутова, М.М. Гаденина. М.: Наука, 1975–2006.
6. Махутов Н.А., Рачук В.С., Гаденин М.М. и др. Исследования напряжений и прочности ракетных двигателей. В 2-х томах. Т. 1: Прочность и ресурс ЖРД. М.: Наука, 2011; Т. 2: Напряжённо-деформированные состояния ЖРД. М.: Наука, 2013.
7. Исследования напряжений и прочности ядерных реакторов. Серия из 9 книг / Под ред. Н.А. Махутова, М.М. Гаденина. М.: Наука, 1987–2009.
8. Диагностика безопасности. Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике. В 20 томах / Под общ. ред. В.В. Ключева. М.: Издательский дом “Спектр”, 2011–2015.
9. Прочность. Механика разрушения. Ресурс. Безопасность технических систем. Серия из 6 книг. Новосибирск: Наука, 2002–2005.
10. Фортвов В.Е., Махутов Н.А. Машиностроение России. В 2-х томах. Т. 1: Состояние и развитие. М.: ОЭММПУ РАН, 2010; Т. 2: Этапы и приоритеты развития. М.: ОЭММПУ РАН, 2016.
11. Махутов Н.А. Прочность и безопасность. Фундаментальные и прикладные исследования. Новосибирск: Наука, 2008.
12. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. В 2-х частях. Новосибирск: Наука, 2005.

*После выступления Н.А. Махутов ответил на вопросы.*

**Академик Л.М. Зелёный:** Почему в вашем выступлении ни разу не прозвучало слово “резонанс”, ведь для ракетной техники это актуально? И второй, более интересный вопрос: в США сейчас пытаются наладить практику повторного использования топливных баков, но для отдельных частей ракет. Как вы к этому относитесь? Насколько снижается ресурс и оправдана ли такая экономия?

**Н.А. Махутов:** Резонанс – сложная, многофакторная и стратегически важная проблема функционирования уникальных объектов, с особой остротой вставшая перед российскими учёными и инженерами в связи с научно-технологическими и социально-экономическими сложностями выраженного динамического характера. Резонанс в технических системах – это одно из состояний с экстремальными колебательными воздействиями на объекты, поэтому он обязательно должен изучаться в рамках исследований таких воздействий. Когда анализируется общая история эксплуатационного нагружения (я не имел возможности детально рассказать об этом в своём выступлении), обязательно проводится анализ и учёт резонансов, а также отстройки от резонансов. Но отсюда вытекает и постановка задач о переходах из штатных состояний к аварийным ситуациям.

Что касается повторного или многократного использования объектов ракетно-космической техники, то этот вопрос должен решаться на базе фундаментальных знаний. Мы стараемся построить теорию, которая дала бы количественную оценку условий, позволяющих продлить ресурс. Ответ на вопрос, можно ли форсировать режимы или, наоборот, перейти на шадящий режим, требует численного обоснования. Отсутствие подобного обоснования – это отсутствие фундаментальных научных исследований. Задел отечественной науки по проблемам многократного использования

основных компонентов ракетных комплексов отражён в проектах “Энергия—Буран” и “МАКС”. Эта работа имеет перспективы.

Академик **В.Е. Фортгов**: Замечу, авария на Саяно-Шушенской ГЭС произошла из-за прохода через резонансные режимы (а этот проход осуществлялся многократно при технических условиях регулирования мощности).

Академик **Д.В. Рундквист**: Существует ли карта России, фиксирующая районы, которые заражены и представляют опасность для людей? Я как геолог работал в разных местах и в трёх таких районах побывал.

**Н.А. Махутов**: Такие карты содержатся в “Атласе природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации”. Их построение осуществлялось в сотрудничестве РАН (академик В.И. Осипов) и МЧС России. В оценку рисков включены экологическая, экономическая, природная, технологическая и демографическая составляющие. Помимо отдельных видов опасностей, в атласе отражены интегральные риски.

Академик **Д.В. Рундквист**: Я спрашивал о тех территориях, которые уже заражены, а не о тех, которые представляют потенциальную опасность.

**Н.А. Махутов**: Эта информация также представлена в атласе. Речь идёт о показателях экологических рисков, оценённых по заражённым территориям. К сожалению, карты приходится постоянно корректировать. Сейсмограммы и сейсмические карты к настоящему времени пересмотрены. Есть карты радиационных и химических загрязнений, привязанные к территориям субъектов РФ, они нужны для постепенного освобождения от загрязнений, поэтому их тоже приходится дорабатывать и пересматривать. Сегодня я говорил преимущественно об инженерных задачах обеспечения техногенной безопасности.

Академик **Д.М. Климов**: Вы сделали очень интересный обзор всех проблем обеспечения техногенной безопасности. В своё время ИПМех РАН активно участвовал в этих работах, а сейчас прямых связей нет. Как нужно организовывать совместные работы? Какие перспективы у межинститутского сотрудничества?

**Н.А. Махутов**: Институты, входящие в Отделение энергетики, машиностроения, механики и проблем управления РАН, десятилетиями работали вместе с нами, и о результатах этой работы я сегодня рассказывал. В последние годы было сокращено количество федеральных и целевых программ, но вместе с тем принято государственное решение о разработке в 2016–2017 гг. новых программ и планов на перспективу от года до 12 и более лет в соответствии с законом “О стратегическом планировании” и “Стратегией

национальной безопасности”. Эти документы требуют участия академии в процессе обеспечения научной поддержки принимаемых решений.

В 2015 г. в Японии была проведена конференция ООН по снижению рисков стихийных бедствий в мире на период до 2030 г. Россия сегодня работает в рамках этого цикла исследований и разработок. В частности, Академией наук и МЧС России в конце 2015 г. был проведён конгресс по глобальным проблемам безопасности, а совсем недавно академия представила свои предложения по включению фундаментальных и прикладных исследований в соответствующие национальные и международные программы.

Сложность состоит в том, что согласно ряду законов, в том числе Закону о РАН, фундаментальную науку в значительной степени отделили от функционирования реальных отраслей. Из отраслей изъята компонента научных, особенно фундаментальных исследований, проводившихся головными институтами. Поэтому необходимо, чтобы академия принимала участие в разработке каждой программы по проблемам безопасности и научно-технического развития. Хороший пример – вариант программы 2017 г. по снижению рисков стихийных бедствий, который Академия наук подготовила в 2015–2016 гг. Будем надеяться, что эта и другие входящие в цикл ООН программы станут одними из базовых для политики государства в рассматриваемой области.

Академик **Д.С. Павлов**: Практически все крупные реки России зарегулированы. По нормативам срок службы плотин 50–100 лет, и некоторые плотины выработали этот ресурс. Не сталкивались ли вы с этой проблемой?

**Н.А. Махутов**: Я думаю, что это тоже одна из проблем прогнозного экстраполяционного подхода к оценке длительного ресурса (когда речь идёт о десятилетиях). На практике, закреплённой во многих действующих нормативных документах, задача сводится к тому, что если вы хотите обосновать ресурс какого-то объекта, то обязаны провести физическое моделирование и испытание во времени, составляющем не менее одной трети от проектного ресурса. Это означает, что при предполагаемом сроке службы плотины 100 лет, атомной станции – 60–80 лет, космической системы – 45 лет мы должны были бы в течение 15–30 лет проводить испытания и только затем приступать к реализации проекта. Такой подход фактически нереализуем. Поэтому сейчас, в частности, ставится задача формирования новых программ фундаментальных исследований в области оценки реального состояния стоков рек, переработки их берегов и гидротехнических сооружений. Сюда входят и задачи оценки ресурса плотин. Для повышения возможностей обоснования продлённого или назначенного ресурса необходимо применять современные модели

анализа напряжённо-деформированных состояний и накопления повреждений высокого уровня. С учётом ослабления или разрушения за последние 20 лет отраслевой науки, включая головные институты, такие как “Гидропроект”, должны быть предприняты очень большие усилия для решения обозначенных фундаментальных и прикладных проблем. Требуется в том числе восстановление роли и возможностей отраслевой науки.

Доктор физико-математических наук **Ф.М. Дедученко**: Представляя интересы МЧС, хочу уточнить: в вашем выступлении речь шла о расчёте рисков, но если для аварий ещё понятно, что это такое, то в отношении техногенных катастроф статистика совершенно ничтожна и недостоверна, распределение Гаусса не работает в принципе, получение степенных выражений тоже нельзя считать решённой проблемой. Какой выход из положения здесь виден?

**Н.А. Махутов**: Это фундаментальный вопрос. Действительно, нормы и правила, разработанные для нашей массовой серийной техники, опирались на статистику. Но сейчас мы реализуем принципиально новые проекты, основанные на использовании уникальных объектов. Поэтому стоит задача создания фундаментальной базы для перспективного анализа рисков катастроф, в том числе тяжёлых. Такие катастрофы – не божья кара, а естественный процесс деградации, старения, изменения эксплуатационных нагрузок и функциональных свойств объектов. А значит, можно построить теорию анализа, сценарного расчёта катастроф, предваряющего реализацию проекта. Должен заметить, мы здесь находимся далеко не в худшем положении. Контактируя по этим проблемам с зарубежными коллегами, мы видим, что наши знания не уступают уровню разработки подобных вопросов, например, американцами. Эта тема становится предметом частых обсуждений и в Российской академии наук, и в Национальной академии наук США. Повторю: экспериментирование – неприемлемый подход к обеспечению защиты от катастроф на уникальных объектах, надо переносить все задачи на научное обоснование проектов, на стадию проектирования и испытаний, то есть должны быть изменены стратегия и государственная научная политика.

Академик **Б.Н. Четверушкин**: Катастрофу можно представить как сочетание факторов риска (а их обычно бывает много) и факторов защиты. Такие сочетания проигрываются. Например, проводя работы по снижению угрозы террористического проникновения, мы моделируем ситуации, когда при использовании разных способов снижения уязвимости террорист находит лазейку в строящейся системе безопасности. Причём учитывается, что террорист либо подготовлен, либо не очень подготовлен. Такая игра – серьёзная вещь. От количества учитываемых

факторов зависит точность прогноза и адекватность рекомендаций. Что можно сказать об усилиях по разработке математических моделей и обработке данных математического моделирования? Ведь многие имеющиеся сегодня вопросы можно, если не закрыть, то продвинуться в их решении.

**Н.А. Махутов**: Многотомник “Безопасность России” – попытка обобщить результаты различных исследований и развить теорию и методы комбинированных защит. Как вы хорошо знаете, есть жёсткая защита, когда мы выстраиваем против прямых поражающих факторов контейменты, барьеры, экраны, жилеты. Есть функциональная защита, когда в систему управления вводятся программы и алгоритмы, учитывающие все возможные сценарии нештатных воздействий и возможные отклонения от штатных – случайные или неслучайные, в том числе террористические. После черныбыльской аварии особое внимание стали уделять естественной защите уникальных объектов, созданию таких объектов, для которых само развитие катастрофы по естественным законам снижало бы поражающее воздействие факторов. Охранная защита – то, о чём вы говорили, – это уже игра умов, интеллекта, таланта защищающихся и нападающих. Здесь на первое место выдвигаются математическое моделирование и теория игр.

Важно, что сегодня в рамках ориентированных фундаментальных проектов РФФИ по-новому организуются работы в области биологии, социологии и математики в сценарном построении атак и вариантов их отражения. Эти исследования предполагают научную базу, которую может предложить Академия наук.

Академик **Р.И. Нигматулин**: Недавно на бюро Отделения наук о Земле академик В.И. Осипов тоже выступал по проблеме катастроф, в основном природных, отчасти инициированных строительной деятельностью. Согласно его оценкам, которые меня и, я думаю, многих поразили, реабилитация, ремонт и восстановление после катастроф составляют 5–8% ВВП. Это означает, что при темпах роста ВВП менее 5–8% происходит деградация производительных сил. Замечу, что практически все страны (за исключением Китая) растут с темпом не более 3%, то есть во всем мире сейчас, если оценки В.И. Осипова верны, идёт деградация производительных сил. Проводили ли вы подобный анализ в отношении техногенных катастроф?

**Н.А. Махутов**: Я хотел бы напомнить, что в 2008 г. Президент РФ поручил Академии наук разрабатывать теорию прогнозирования развития страны. Направления и результаты разработок обсуждались на Общем собрании РАН в 2009 г. Научный совет РАН по прогнозированию продолжает работать над вопросами оценки ущерба. Общие социально-экономические потери от природных

и техногенных катастроф даже в передовых странах составляют примерно 2–3% ВВП. Поэтому если рост ВВП в этих странах идёт с темпами на уровне 2–3%, тогда можно говорить о некотором развитии.

Для нашей страны риски и ущербы в социальной, природной и техногенной сфере в последние два десятилетия оказались выше, чем для других стран. Учитывая неестественную гибель людей и получаемые увечья, разрушения зданий и инфраструктуры, поражение природной среды, эти цифры достигают примерно 6–8% ВВП и даже более. Если мы хотим развиваться, то надо пересмотреть прогнозы, планы и цифры развития на основе анализа стратегических рисков. То есть нас абсолютно не могут устроить 1–2% роста ВВП, равнозначные бесспорной деградации. Получается, что сегодня эта деградация запланирована, заложена в различные программы. Научным советом РАН по прогнозированию был опубликован ряд предложений по одновременному увеличению темпов развития и снижению рисков и по методам решения обратных задач прогнозирования развития страны с учётом стратегических рисков. Только Академия наук вместе с Советом безопасности РФ может подготовить необходимые междисциплинарные и межотраслевые информационно-аналитические материалы для руководства страны. Отрасли и ведомства в отдельности не в состоянии провести такую работу. Это фундаментальная задача для РАН в интересах будущего развития России. Предварительный анализ у нас есть, и его результаты, отражённые в материалах Научного совета РАН по прогнозированию, Рабочей группы при президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности, которые передавались в Научный совет при Совете безопасности РФ, нужно использовать.

**Академик А.А. Кокшин:** Возникает арифметический вопрос: как известно, в Японии более 20 лет наблюдался нулевой рост ВВП. Отмечается ли там деградация? Если говорить об арифметике, это абсолютная деградация. Но причины аварии на “Фукусима-1”, которые долго и тщательно разбирались, заключаются несколько в ином, не объясняются такой деградацией. Получается, расчёты соотношения между ростом ВВП и экономическим эквивалентом ущерба от техногенных катастроф надо делать как-то иначе, может быть, не опираясь на такие простые арифметические схемы?

**Н.А. Махутов:** В прошлом году я был в Японии, где проводилась очень интересная конференция “Какой будет Япония в 2050 году?”. Японцы крайне обеспокоены ситуацией в своей стране. И в России, и за рубежом сложилась практика социально-экономического прогнозирования и планирования без прямого учёта природных и техногенных опасностей, угроз и рисков. Они сейчас в явном виде не входят ни в планы, ни в уравнения, ни в показатели

развития. По-видимому, ситуацию в Японии в этом плане можно считать симптоматичной: темпы развития страны снижаются, хотя прямыми данными о рисках мы не располагаем. Наступил момент, когда Россия с учётом кризисных процессов и своего особого положения ещё раз может продемонстрировать (сначала себе, а потом и миру!), как надо было бы по-настоящему закладывать опасности и риски – естественные, социальные, природные и техногенные – в наши прогнозы, планы и стратегии развития. Приведённые мною данные, учитывающие интегральные риски локальных, объектовых, местных, региональных, национальных, глобальных и планетарных аварий и катастроф с негативными социально-экономическими последствиями, могут быть положены в основу создания такой новой практики прогнозирования и планирования. Для достижения этой цели нужно интегрировать потенциал всех отделений РАН.

**Доктор технических наук Б.Г. Нестеренко:** В России, к сожалению, оценивают преимущественно безопасность гражданской авиации, тогда как в США оценивается уровень риска и в военной авиации. Планируется ли повысить уровень безопасности и в гражданской, и в военной авиации, снизив риски в 5–10 раз?

**Н.А. Махутов:** Данные, о которых я говорил, действительно относятся к гражданской авиации. Ясно, что в военной авиации могут быть другие цифры. Вы, наверное, их знаете. Но есть принципиально важный общий вопрос, отражённый в докладе. Америка, Россия, МАГАТЭ, ИКАО, все надзорные службы и органы попытались записать расчётные желаемые показатели рисков  $10^{-6}$  –  $10^{-8}$  ед./год для атомной энергетики,  $10^{-3}$  –  $10^{-4}$  ед./год для ракетно-космической и авиационной техники. Но для того чтобы показать, что это именно так, мы должны предпринять огромные конструкторско-технологические и экономические усилия, направленные на снижение реальных рисков до приемлемых расчётных. Соответствующая база сейчас только создаётся, она отражена в представленных диаграммах и графиках.

Опыт США известен, и его надо учитывать. Но записать цифры для успокоения населения и властей – одно дело, а реализовать эти цифры – совсем другое. В последнем и состоит огромная научная сложность. Живучесть, безопасность и защищённость от катастроф в авиации предполагает анализ применимости композитов и возможности преодоления многоочаговых разрушений. Нужно, чтобы фундаментальная и прикладная наука, нормы и правила, работа отдельных специалистов были на это ориентированы.

**Академик А.Н. Лагарьков:** Существует ли понятие разумного риска? Когда мы уменьшаем вероятность какого-то нежелательного события, мы платим за это

деньги, нередко большие. Тогда правильным будет спросить, до какого значения с экономической точки зрения имеет смысл уменьшать риски?

**Н.А. Махутов:** Сейчас в нашей и зарубежной практике вводится несколько понятий и категорий рисков, в том числе понятие категорированных рисков. Первая категория — неприемлемые риски, то есть ущербы и риски от наиболее тяжёлых катастроф, которые уже произошли. Мы их можем как-то обчитать и сказать, что в дальнейшем такие катастрофы для нас неприемлемы. Следующая категория (или уровень) — приемлемые риски: вводятся определённый запас по рискам и ориентир, согласно которому хорошо было бы удержаться на установленном приемлемом уровне рисков, что требует целого комплекса мероприятий экономического и научно-технологического характера. Эта категория фигурировала в рассмотрении так же, как и третья — пренебрежимый риск фоновый уровень. Если риски, связанные с той или иной нашей деятельностью, сопоставимы с фоновыми показателями, то от нас не требуется никаких особенных действий.

Расчёт каждого уровня (категории) риска, методы его определения и нормирования, расчётные уравнения, критерии, параметры — всё это составляет область продолжающихся исследований. На упоминавшейся уже конференции ООН по проблеме снижения риска стихийных бедствий (Япония, 2015 г.) первый приоритет был сформулирован как достижение понимания значения и природы рисков обществом, властью, наукой, субъектами национальных и мировых экономик — всеми социальными институтами и группами и каждым человеком. Такова главная задача, поставленная на уровне ООН. Я и мои коллеги надеемся, что она будет отражена и в российской национальной государственной программе по стихийным бедствиям. Роль академии в реализации этой задачи — сформулировать общее понимание рисков и научно обосновать основные количественные показатели. Таков фундамент и первый этап, за которым следуют управление, расчёты, анализ, юридические и технические нормы, экспертное сопровождение и работа соответствующих инстанций — Совета безопасности РФ, МЧС России, Ростехнадзора, Госэкспертизы и др.

Академик **В.Е. Фортов:** Назову в дополнение к сказанному примечательные цифры. Граница между риском и авантюрой находится на уровне 10%. Это очень хорошо знают люди, которые ходят на яхтах через Атлантику или через мыс Горн: если риск больше данной величины, вы должны понимать, что рискуете своей жизнью. Когда Ю.А. Гагарин отправился в космос, риск неудачи определили как 30%, а когда он вернулся, С.П. Королёв гуляя с ним по Байконуру, на вопрос, какая была вероятность успеха, ответил: 50%.

В вашем чрезвычайно содержательном докладе ничего не говорилось об авариях, связанных с химически активными средами, процессами горения, детонации, перехода горения в детонацию. Я упоминаю об этом, потому что знаю: вы делаете очень многое для институтов физического, химического и технологического профиля. Катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС, атомных электростанциях в Чернобыле, Три-Майл-Айленде, Фукусиме — сценарии, похожие на химические взрывы. На производствах подобные серьёзные аварии происходят очень часто.

**Н.А. Махутов:** Вы абсолютно правы: горение, дефлаграция, детонация — это фазы перехода химического рабочего процесса в наиболее опасные сценарии. Они обязательно должны включаться в анализ безопасности и рисков, что мы постарались отразить в многотомном издании “Безопасность России”. Но перечисленные химические процессы теснейшим образом связаны с реакциями объектов на обусловленные ими поражающие факторы. Эти реакции тоже порождают систему фазовых переходов от твёрдого до плазменного состояния, что хорошо видно на примере объектов атомной и термоядерной энергетики. Поэтому, как я полагаю, фазы химико-физических переходов в рабочих телах и фазы переходов состояний в несущих конструкциях — новейшая сопряжённая задача. В качестве иллюстрации можно взять возгорание металла ракетных двигателей — проблему проекта “Энергия–Буран”. Основными считались прочностные проблемы, а потом выяснилось, что при катастрофе металл не только разрушается, но и горит, причём от ЖРД ничего не остаётся. Аналогичной, но более сложной была проблема с термоядерной установкой “Ангара-5”. Такие принципиально новые задачи и проблемы я бы охарактеризовал одним словом — фундаментальнейшие.

Мы проводили лабораторный эксперимент: циклически нагружали образец с высокой частотой в 70 Гц при упругопластическом деформировании. В образце была трещина, которая начинала развиваться в соответствии с принципами механики разрушения, затем металл в вершине трещины разогревался за счёт тепловыделения при пластических деформациях, трещина начинала освещать нашу комнату, потом из неё вытекал жидкий металл. Вот что такое современные фазовые и физико-химические переходы в экстремальных процессах деформирования, разрушения, нагрева, плавления. Это важнейшая фундаментальная задача с большим прикладным значением. Я могу с уверенностью сказать, что в обозначенной области Российская академия наук может не только успешно сотрудничать, но даже соперничать со всеми ведущими институтами мира.

## ИЗУЧЕНИЕ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ КАТАСТРОФ – КОМПЛЕКСНАЯ ЗАДАЧА

### ОБСУЖДЕНИЕ НАУЧНОГО СООБЩЕНИЯ

Об опыте взаимодействия компании “Сухой” с Институтом машиноведения РАН в области изучения процессов деформирования и разрушения рассказал собравшимся академик **М.А. Погосян**. Совместная работа разворачивалась в связи с разработкой таких проектов, как самолёты пятого поколения “Сухой суперджет-100”. Требования к ресурсным характеристикам самолётов за последние 20 лет радикально изменились, пояснил М.А. Погосян. Если в разработках 1980-х годов они были на уровне 2–3 тыс. циклов, то сегодня ресурс лётной техники не может быть меньше 6 тыс. циклов. Нужно либо существенно снижать уровень допустимых напряжений, либо это приводит к увеличению веса конструкций, либо менять научные основания разработок – выходить на новый уровень понимания глубинных процессов формирования трещин и трещиностойкости конструкций и создавать новые математические модели. Последнее должно позволить, радикально не снижая уровень напряжений, а значит, и не увеличивая веса конструкций, обеспечить большую живучесть лётной техники.

Разрешение этой дилеммы ставит перед Российской академией наук целый ряд конкретных задач по изучению физических процессов образования и развития трещин в материалах и конструкциях. Как подчеркнул М.А. Погосян, конкретные задачи, которые могут быть решены в ближайшей перспективе, находятся на стыке фундаментальных исследований, ведущихся институтами РАН, и промышленных разработок, включая целый ряд направлений, в том числе в области усталости и живучести конструкций. Понимание протекающих физико-химических и механических процессов обязательно должно сочетаться с процессами сертификации, отметил М.А. Погосян: насколько глубоко мы понимаем физику, химию и механику процессов, настолько же точно и объективно формируем и сертификационные требования, которые сегодня во всём мире ужесточаются, в то время как российская промышленность в этом отношении отстаёт.

Поскольку техника, которая должна обеспечить жизненный цикл в 7 тыс. ч, налетала сегодня только 1–1.5 тыс. ч, весьма актуальны задачи материаловедения, связанные с нанесением различного рода покрытий, замедляющих процесс развития трещин. Ещё одно важное направление – композитные конструкции. Если в случае металлических конструкций имеется достаточно большой набор

статистических данных об их поведении в различных ситуациях, то для композитных конструкций подобного набора статистики нет. В настоящее время, посетовал М.А. Погосян, авиационный и другие комплексы в значительной степени проектируются без глубокого научно обоснованного понимания процессов повреждения, образования и развития трещин как в композитных монослоях, так и в армирующих и связующих материалах. Именно поэтому сертификационные требования становятся избыточными. Так, конструкция “Боинга-787” под давлением сертификатов и при отсутствии понимания физики процессов проектировалась как “чёрный алюминий”: стрингеры крепились к панелям через болтовые соединения, хотя любое болтовое соединение является источником и концентратором напряжений, – для композитных конструкций такой принцип сборки недопустим. Этот пример доказывает, что без понимания общих процессов и формирования расчётных методов, которые можно было бы предъявить сертификаторам, чтобы подтвердить на экспериментах живучесть такого рода конструкций и их устойчивость к различным воздействиям и разрушениям, нельзя добиться прорыва во внедрении новых технологий и новых материалов, пояснил М.А. Погосян. Поскольку речь идёт о междисциплинарных проблемах, необходимо, отталкиваясь от озвученных Н.А. Махутовым результатов и поставленных им проблем, формировать новые подходы, которые позволили бы максимально использовать преимущества современных гибридных материалов для новых конструкций. Эта тема актуальна не только для авиастроения, но и для проектирования трубопроводов и сосудов давления, ветряных электростанций, строительства. Она касается и когнитивных технологий, того, как будут вести себя детали, изготовленные с применением новейших методов, в различного рода сложных напряжённых и деформируемых состояниях, как будут развиваться опасные процессы разрушения. Общепринятая теория в этом вопросе отсутствует и её нужно создавать, заключил М.А. Погосян.

Генеральный директор ВНИКТИ доктор технических наук **В.С. Коссов** начал своё выступление со слов благодарности в адрес Академии наук за плодотворное сотрудничество и сообщил, что разработанная совместно с РАН стратегия развития железнодорожного транспорта России до 2030 г. согласована и отражена в «Белой книге ОАО

“РЖД”» – документе, в котором зафиксированы стратегически важные инновационные разработки в области железнодорожного транспорта на ближайшую и отдалённую перспективу.

В ряду поставленных задач первоочередной является подготовка стратегии управления ресурсом на железнодорожном транспорте. Методы, подходы и методики, о которых рассказывал Н.А. Махутов, активно используются для оценки ресурсных возможностей находящейся в распоряжении ОАО “РЖД” техники, включающей 20 тыс. локомотивов и порядка 1.5 млн. грузовых вагонов. Комментируя состояние грузового подвижного состава, В.С. Коссов пояснил, что колёсно-моторный блок грузового локомотива имеет от 6 до 8.5 т неподрессоренной массы и находится во взаимодействии с рельсом при скорости до 100 км/ч и более. Виброускорение при эксплуатационном движении состава достигает в блоке порядка 30, а в тягловом двигателе – уже свыше 100 м/с<sup>2</sup>. В районах Байкало-Амурской магистрали, на севере Свердловской области, где проходят северные железные дороги, температура окружающей среды неделями может держаться ниже –60°С.

Рельс и, соответственно, колесо-ось должны работать без разрушения. Технические требования к подвижному составу и рельсам определяются на основании теории упругости, механики разрушения, реальной прочности и усталости в гигацикловых условиях. Рельс должен служить не менее 2.5 млрд. т-км брутто, а значит, если поделить по проходу осей вагонов со средней нагрузкой хотя бы 20 т, получается порядок циклов нагружения на уровне 10<sup>8</sup> и более, то есть явно гигацикловая область. В.С. Коссов отметил важность анализа характерных дефектов. В головке рельса дефекты могут быть заложены при прокатке, поэтому надо разрабатывать средства неразрушающего контроля, чтобы выявлять дефекты на уровне 2 мм, не допуская попадания на железную дорогу рельсов с таким исходным технологическим дефектом. Особую опасность представляет возможность изменения направления продольной трещины в ходе эксплуатационного роста, её переход в поперечную трещину. В процессе роста трещин в явном виде представлена классическая и неклассическая механика разрушения, привязанная к анализу трещин, пропущенных на стадии технологических процессов или образовавшихся и развивающихся в ходе эксплуатации. В подошве рельса могут происходить аналогичные процессы. Яркий пример сочетания фундаментальной и прикладной задач для рельса, по словам В.С. Коссова, – исследование кинетики трещин, с тем чтобы понять, каков исходный ресурс до появления трещины и каков остаточный – в процессе её развития, и развернуть такую систему обслуживания верхнего строения пути

и подвижного состава, которая позволяла бы оставаться в безрисковой зоне.

В.С. Коссов обратил внимание также на контактную задачу – проходки колеса по рельсу. Надо оценить, как изменяются компоненты тензора напряжений в зоне контакта. Неупругое состояние явно достигается уже в пятне контакта. Реальное пятно контакта протяжённостью примерно 25 мм по длине и примерно 15 мм по ширине характеризуется напряжениями выше пределов текучести. Нормальные напряжения в объёме зоны контакта доходят до 1300 мПа, а наибольшие касательные напряжения сосредоточиваются у поверхности. Опасная зона колеса и рельса, составляющая по толщине примерно 20 мм, находится в зоне очень высоких суммарных напряжений. Задача осложняется фактом совмещённого движения по путям общего пользования пассажирского подвижного состава и тяжеловесного грузового. На российских железных дорогах уже используются грузовые вагоны с нагрузкой 25 т на ось (в отличие от серийных вагонов с нагрузкой 23 т), кроме того, на некоторых перегонах обращаются вагоны с нагрузкой 27 т на ось. Если 10–15 лет назад средняя масса поезда составляла 3.5–4 тыс. т, то сейчас повсеместно обращаются поезда массой 6.3–7.1 тыс. т и двоянные поезда, масса которых достигает соответственно 12.6–14.2 тыс. т. Совместно с ИМАШем РАН ОАО “РЖД” проводились уникальные эксперименты – экстренное торможение поезда массой 14.2 тыс. т на участке с кривой радиусом 300 м. Продольная динамика перерастает в поперечную динамику, что чревато сползанием колеса на ось и опрокидыванием рельса.

Говоря о нововведениях, В.С. Коссов отметил, что на российских железных дорогах впервые в мире стали обращаться магистральные газотурбовозы, работающие на сжиженном природном газе с температурой в криогенных ёмкостях до –162 °С. Это ещё одно свидетельство востребованности подходов, методов и методик, разработанных ИМАШем РАН и другими институтами Российской академии наук.

В заключение В.С. Коссов подчеркнул, что актуальные вопросы ресурса, приемлемого риска, обоснования безопасности движения при назначенных в технических требованиях сроках службы магистральных локомотивов 50 лет, маневровых локомотивов – 60 лет, вагонов – 30 лет требуют продолжения фундаментальных и прикладных исследований.

Академик **Ю.В. Гуляев** дополнил В.С. Коссова, рассказав о ещё одном совместном проекте РАН и ОАО “РЖД” – разработке системы, предотвращающей засыпание машиниста во время движения поезда, которая основана на изменении

кожно-гармонической реакции человека. В настоящее время все локомотивы в России оснащены этой системой, а работа по её созданию отмечена премией Правительства РФ.

На ряде вопросов, связанных с решением конкретных задач обеспечения безопасности различного рода объектов, остановился член-корреспондент РАН **Р.В. Гольдштейн**. Первый вопрос связан с существенным изменением в последние 20 лет норм лётной годности, критериев прочностного расчёта ресурса. Начиная с 1954 г. и до сегодняшнего дня каждое дополнение норм расчётной годности следовало за какой-либо катастрофой. В 1954 г. произошла катастрофа реактивного самолёта “Комета”, после которой стали обращать внимание на возможность образования усталостных трещин. Затем были введены нормирование фиксированных дефектов за время жизненного цикла конструкции и нормы на допустимые дефекты. После катастрофы самолёта “Боинг” в 1988 г. обратили внимание на многоочаговое усталостное разрушение на заклёпках. Подобная стратегия совершенствования норм прочности и ресурса прослеживается и в других отраслях, с сожалением сообщил Р.В. Гольдштейн и сделал вывод о необходимости переходить к другой системе нормирования. Она должна основываться на прогнозировании, разработке сценариев возможных критических ситуаций, чтобы вводимые нормативы и проектируемые конструкции предвосхищали потенциальные катастрофы, а не только учитывали опыт уже произошедших. Современный уровень развития фундаментальных наук, методов лабораторных и стендовых экспериментов и компьютерных испытаний крайне благоприятствует этой стратегии.

Второй сюжет, к которому обратился Р.В. Гольдштейн, – катастрофы, связанные с различными химическими процессами. Он рассказал о продолжительной работе над проблемой сероводородного растрескивания оборудования нефтяной и газовой промышленности, ведущейся в ИПМехе РАН. Не только в нашей стране, но и во всём мире этот вид воздействия признан представляющим наибольшую опасность для нефтяной и газовой отраслей, несмотря на то, что месторождения, где газовый конденсат содержит определённую долю сероводорода, встречаются не так уж часто. В России к таким относятся Оренбургское (7%), Астраханское (>7%) и ряд других месторождений. Кроме того, сегодня обнаружилось новые угрозы. Например, начата разработка на ряде месторождений, где сероводород вроде бы отсутствует, но может образовываться под действием аэробных бактерий.

Само по себе развитие разрушений, провоцируемое воздействием химически активных веществ, подобных сероводороду, отличается от того,

к чему мы привыкли, пояснил Р.В. Гольдштейн. Если посмотреть на поверхность трещины, то она напоминает ступенчатый горный массив. Там нет большой макротрещины. Внутри стенки трубы или стенки сосуда давления развивается система трещин, которая постепенно превращается в упорядоченные структуры, начинающие прорастать к ближайшей свободной поверхности, после чего наступает резкое снижение прочности. В ИПМехе РАН разработаны новые модели этих опасных процессов. Совместно с отраслевым институтом ВНИИнефтемаш, а сегодня ещё и Институтом физической диагностики и моделирования работа доведена до стадии практических приложений, в частности на базе ПО “Оренбурггаздобыча”. По мнению Р.В. Гольдштейна, необходимы взаимоувязанные механо-физико-химические исследования, которые позволили бы перевести рассматриваемые изыскания на уровень, в полной мере отвечающий не только текущим, но и будущим потребностям российской нефтегазовой отрасли.

Третья тема, поднятая Р.В. Гольдштейном, касалась перспектив минимизации негативных последствий тех катастроф, избежать которых не удаётся. Эта проблема изучалась в ИПМехе РАН специально для случая многоуровневых иерархически устроенных систем. Было показано, что задача сводится к правильному распределению определённого объёма защитных ресурсов между различными структурными уровнями иерархической системы. Вариант равномерного размещения защитных ресурсов по уровням оказался неоптимальным. Наиболее эффективным было признано неравномерное распределение, предполагающее выбор уровней, концентрирующих защитные ресурсы, благодаря чему можно добиться наилучших результатов от системы защиты в целом. Подобный подход важен не только для сложных технических систем, он развивается и применительно к формированию элементов защиты объектов гражданского и промышленного строительства от сейсмических воздействий.

Р.В. Гольдштейн остановился также на вопросах обеспечения безопасности при освоении Арктики. В Северном море в 1980-е годы при сильном волновом воздействии (волна высотой 12 м) разрушилась норвежская платформа “Александр Киланд”, погибли 130 человек. Расследование вскрыло поразительную причину произошедшего: чтобы в процессе эксплуатации платформы получать данные о её поведении и поведении окружающей среды, эксплуатационники приварили к ней гидрофон, и именно в этом месте начала расти усталостная трещина. Она и стала причиной аварии. Ледяной покров, которого в случае норвежской платформы не было, способен ещё более обострить риски развития трещин и деформации конструкции.

Столкновение огромного многолетнего тороса с ледостойкой платформой кессонного типа “Моликпак”, произошедшее несколько десятилетий назад (разрушений удалось избежать, но нагрузка на 70% превысила расчётную, составлявшую 620 МН), показывает, что не только эксплуатация ледостойких сооружений в Арктике, но и организация транспорта по Северному морскому пути актуализирует задачи разработки методов снижения ледовых нагрузок. Здесь не обойтись без совместной работы Академии наук и институтов, относящихся к отраслям нефтегазодобычи и морскому флоту, но она, по мнению Р.В. Гольдштейна, до сих пор организационно не налажена.

Техногенная катастрофа – это потеря структурной устойчивости, но не устойчивости, как её определял А.М. Ляпунов, уточнил генеральный директор Международной ассоциации “Космические технологии” доктор физико-математических наук **Ф.М. Дедученко**. Структурная устойчивость – новое научное направление, которому всего 15–20 лет и которое бурно развивается, однако пока не даёт ощутимого практического результата. Теория структурной устойчивости используется в теории катастроф, но этого мало, нужно расширять её применение в рамках прикладных исследований, считает **Ф.М. Дедученко**. Решение этой проблемы и в целом задачи обеспечения безопасности эксплуатации технических объектов невозможно без консолидации усилий со стороны фундаментальной академической и отраслевой науки, однако в последние годы такое сотрудничество как по объёму работ, так и по их финансовой поддержке, сокращается. Если в советские времена проблемы технической безопасности решались совместно, сегодня каждая отрасль и даже организация создаёт свои собственные программы, реализация которых требует больших затрат. Кроме того, раньше анализ катастроф предполагал поиск повлёкших их причин, а сегодня катастрофы, как правило, не подлежат научному разбору, анализ сводится к написанию отписок либо к выполнению социального заказа на поиск виноватого. После каждого инцидента ужесточаются нормы, повышаются требования, но эти меры не дают ощутимого эффекта.

Американские специалисты в области техногенных катастроф считают, что опасность – свойство, присущее всем сложным техническим системам. Принципиальная трудность заключается в том, что, несмотря на большое число катастроф, например, в энергетике, обзор статистики не позволяет решать вопросы безопасности, поскольку источником рисков выступают не просто локальные машины, а сверхмощные энергетические установки, каждая из которых включена в гигантский распределённый испытательный и эксплуатационный комплекс. При эксплуатации таких

объектов любая техническая авария превращается в техногенную катастрофу: разрушается материальная часть и стендовая база, гибнут люди. Тем не менее, хотя риски, связанные с использованием таких систем, в принципе неустранимы, их можно минимизировать. Российская промышленность имеет огромный опыт работы по предотвращению катастрофических ситуаций, подчеркнул **Ф.М. Дедученко**.

Ещё одна конкретная сфера риска – катастрофы на сверхмощных ракетносителях, оснащённых ЖРД космического назначения. Раньше отечественная наука и промышленность умели справляться с подобными катастрофами, несмотря на то, что во всём мире они характеризуются как внезапные и бессимптомные. На головных образцах катастрофы продолжали случаться, но они тщательно изучались и благодаря этому парировались в будущем. Сегодня же число катастроф снова растёт, причина – практически полная утрата необходимого научного потенциала и экспериментальной базы в рамках промышленного производства. Вместе с тем отечественная наука по-прежнему располагает огромным заделом в плане изучения и разработки ЖРД, который в сложившихся обстоятельствах остаётся невостребованным.

В последние годы наука и промышленность работали в условиях конверсии, которая была решена на множестве объектов, в том числе атомной и ракетно-космической техники. При этом реализовывался оправдавший себя подход: сначала эксперимент и только затем теория. Особый вклад в экспериментальные работы на сложнейших объектах внесли специалисты Газпрома, в течение 10 лет ведущие впечатляющую по масштабам научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую деятельность. **Ф.М. Дедученко** рассказал, в частности, о большом значении исследования катастрофы, произошедшей на газовом промысле “Газпромдобыча Ямбург” и зафиксированной в мельчайших деталях благодаря тому, что там проводилось испытание системы диагностирования с дополнительными датчиками. Впрочем, возможности тестируемой системы, уточнил **Ф.М. Дедученко**, не ограничиваются диагностикой. Отличие этой системы от штатной, неинформативной по авариям и тем более катастрофам, заключается в том, что система измерения рассредоточена, распределена по объектам на больших расстояниях с синхронизацией данных при помощи GPS. Информация о катастрофах содержится не в элементах технической системы, а в процессах их взаимодействия друг с другом. Обычно внимание специалистов по безопасности приковано к элементам, то есть к диагностике. Но диагностика не решает проблем минимизации рисков возникновения катастрофы, поскольку речь идёт о системных катастрофических событиях,

характеризующихся особыми сценариями протекания и симптомами и поэтому требующих особых подходов к их изучению и противодействию им.

Совместные работы РАН, Роскосмоса, МЧС России и других организаций открывают многообещающие перспективы с точки зрения фундаментальных исследований, а также промышленных разработок, с удовлетворением отметил Ф.М. Дедученко. Однако результаты большой команды, деятельность которой отражается в повестке дня заседаний Рабочей группы при президенте РАН по анализу риска и проблем безопасности, в значительной мере остаются невостребованными, а её предложения и наработки – неуслышанными и не реализованными на межотраслевом уровне.

Научный руководитель направления “Целостность конструкций” НИКИЭТ им. Н.А. Доллежале доктор технических наук **С.В. Европин** заметил, что сроки службы объектов атомной энергетики были назначены 50–60 лет назад. Но фактически подтвердить в традиционной постановке характеристики ресурса для уникальных объектов АЭС и сегодня не представляется возможным. Какую альтернативу можно предложить?

С одной стороны, в левой части представленных Н.А. Махутовым расчётных уравнений присутствуют неопределённости – теплогидравлическая, гидродинамическая, вибрационная, прочностная со всеми сопутствующими ей факторами, что обуславливает потребность в комплексной методологии, которая затрагивает практически все области знаний о рабочих процессах и конструкциях. Разработка и совершенствование такой методологии сами по себе составляют фундаментальную проблему современного методического обеспечения, прежде всего математического. Вычислительные средства терафлопсных масштабов позволяют решать практически любые задачи. Но при этом отсутствует стандартизованная и нормативно оформленная методология. А когда нет такой методологии, ни один надзорный орган не принимает всерьёз производимые расчёты.

С другой стороны, в правой части расчётных уравнений присутствует система коэффициентов запаса прочности и долговечности, причём речь идёт именно о системе, потому что запасы вводятся для обоснования статической и циклической прочности, трещиностойкости, хрупкой прочности, длительной прочности, радиационной и коррозионной стойкости. Влияние изменения коэффициентов запаса на характеристики вероятности разрушения – вторая фундаментальная проблема, которая также требует комплексного анализа. Третья проблема – чисто экономическая – заключается в оценке ущерба, наносимого катастрофами.

Таким образом, по словам С.В. Европина, может быть конкретизирована комплексная постановка вопросов безопасности, надёжности и долговечности. Именно комплексная постановка, о которой говорил в своём выступлении Н.А. Махутов, является действительной задачей фундаментальной науки, и на её решение рассчитывают прикладные институты во всех отраслях.

Завершая прения, президент РАН академик **В.Е. Фортов** отметил, что на заседаниях Президиума РАН неоднократно обсуждалась проблематика, связанная с авариями, катастрофами и методами их предотвращения, а также механикой твёрдого деформируемого тела и поведением вещества в экстремальных условиях. Анализ событий на Чернобыльской АЭС, Саяно-Шушенской ГЭС, в Три-Майл-Айленде, Фукусиме и многих других, произошедших в условиях ускорения больших объёмов горючего, взрывоопасного и радиационно опасного вещества, показывает непреходящую актуальность этой тематики и позволяет заключить, что к ней придётся возвращаться снова и снова.

При создании объекта техносферы или технического устройства конструктор должен стремиться к максимальным значениям параметров жизненного цикла или эксплуатационных условий работы, потому что этим определяются эффективность, КПД и габаритные характеристики технического объекта. Каждый год в мире проводятся сотни конференций, посвящённых вопросам ресурса, анализа рисков и механики разрушения, а также горения, детонации и соответствующих резонансных воздействий. Работа в рассматриваемой области, подчеркнул В.Е. Фортов, является очень трудной, потому что постоянно нужно выходить на параметры, близкие к экстремальным. Для России задача осложняется чрезвычайно сильной изношенностью инфраструктуры – энергетической, космической, авиационной, транспортной, которая составляет, по разным оценкам, от 60 до 80% (в энергетике – более 40%). Надеяться на инвестиции, которые позволили бы приступить к обновлению технической среды, сегодня не приходится, а значит, страну в ближайшем будущем ожидает неизбежный рост аварийности. Поэтому анализ долговечности и ресурса – задача не только техническая, но одновременно политическая и социально-экономическая.

С момента своего создания ИМАШ РАН, ИПМех РАН, Институт высоких температур РАН, Институт проблем управления РАН и другие академические учреждения, упомянутые в сообщении Н.А. Махутова и выступлениях участников прений, вели работу по перечисленным направлениям на самом высоком уровне. Хотя этот уровень

превосходил уровень отраслевой науки, академическая и отраслевая наука никогда не противопоставлялись друг другу, наоборот, действовали в тесной кооперации. По мнению В.Е. Фортова, это единственно правильный подход, потому что и для академической, и для прикладной науки, и для общества в целом важно, чтобы достижения, получаемые в рамках фундаментальных исследований, внедрялись в реальное производство и чтобы такое внедрение было бесконфликтным.

Сегодня, констатировал президент РАН, мы находимся в трудном положении, потому что, с одной стороны, отрасли потеряли прикладную науку, и в значительной степени эта ситуация уже необратима, с другой — задачи, которые стоят перед промышленностью, усложняются, их число быстро растёт, их решение требует серьёзного научного сопровождения.

В.Е. Фортов призвал также не забывать, что, помимо прикладных и прагматических задач, существуют важные задачи, связанные с развитием катастрофических процессов в сложной динамичной системе, когда они уже вышли на стадию распространения либо ударных волн, либо осколков. Детальное изучение процессов разрушения — одна из первостепенных задач современной механики — решается сегодня в ряде институтов РАН, которые получают значимые, подчас неожиданные результаты. В качестве примера В.Е. Фортов привёл работу по измерению так называемой откольной прочности материалов. Оказывается, чем быстрее происходит процесс деформации, тем выше прочность. То есть, если делать нормальную защитную систему или защиту, например, космического аппарата, исходя из данных классической теории сопротивления материалов и классических представлений о статической прочности и долговечности, порядок ошибки в определении прочности составит разы, в определении долговечности — сотни раз. Эти ошеломляющие цифры опытно установлены и приняты в уточнённых расчётах. Подобных примеров, заметил В.Е. Фортов, очень много. Переход в пластическое состояние с ростом скорости деформирования и температуры происходит совершенно не так, как предсказывал учебник. Не менее интересные результаты даёт развитие математического моделирования.

Появились новые схемы, а главное, способы расчёта, учитывающие сложные взаимодействия и изменения функционала плотности. Благодаря этому становится возможным решать задачи, превосходящие по сложности функционал обычных математических моделей, просчитывать развитие опасных процессов в графитовых кладках атомных энергетических реакторов для периодов в несколько десятков лет, что позволяет по-новому посмотреть на эти проблемы.

Особо В.Е. Фортов выделил междисциплинарный характер обсуждавшихся проблем: специалисты фактически из всех областей науки находят здесь интересные для себя задачи. Выступление Н.А. Махутова и состоявшееся затем обсуждение свидетельствуют, что Российская академия наук и ранее проводила исследования такого рода, когда “под одной крышей” организовывались работы, позволяющие собирать учёных разных дисциплин вокруг одной проблемы, имеющей и фундаментальное, и многоотраслевое прикладное значение. Поэтому странно слышать обращённые к академии призывы заниматься междисциплинарными исследованиями — вся работа, проводимая в Академии наук, была и остаётся междисциплинарной. Действительная задача академии, к сожалению, и сегодня не теряющая актуальности, — организация совместной работы с предприятиями российской промышленности в условиях отсутствия у отраслей необходимых ресурсов для развития. И несмотря на радикальное сокращение в последние годы инвестиций в фундаментальную и прикладную науку, эта задача решалась и продолжает решаться, с удовлетворением подчеркнул В.Е. Фортов. Примером служит новое соглашение РАН и ОАО “РЖД”, в соответствии с которым “РЖД” берёт на себя обязательства по поддержке проводящихся в Академии наук исследований в области прочности, ресурса, устойчивости, трибологии, динамики полотна и подвижного состава, в паре колесо—рельс.

*Материалы обсуждения подготовила  
к печати кандидат философских наук*

*С.В. ПИРОЖКОВА,*

Институт философии РАН, Москва, Россия

[pirozhkovasv@gmail.com](mailto:pirozhkovasv@gmail.com)

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА В ОТДЕЛЬНЫХ  
РАЙОНАХ ОХОТСКОГО МОРЯ В ПЕРИОД ПОТЕПЛЕНИЯ

© 2017 г. В.М. Пищальник, И.Г. Минервин, В.А. Романюк

*Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия*

*e-mail: vpishchalnik@rambler.ru; igor@minervin.ru; kunashir18@rambler.ru*

Поступила в редакцию 22.07.2016 г.

В статье представлены результаты исследования межгодовых колебаний аномалий ледовитости Охотского моря с 1979 по 2015 г. Этот временной интервал в современной литературе называют периодом потепления или тёплым периодом. Впервые проанализированы изменения ледового режима для иерархических районов первого уровня с пространственными масштабами более 400 тыс. км<sup>2</sup>. Для каждого выделенного ледового района и Охотского моря в целом выполнен сравнительный анализ повторяемости различных типов зим, а также периодов с положительной и отрицательной тенденциями изменения ледовитости. Показано, что процессы ледообразования и ледовый режим в отдельных районах моря имеют существенные различия, что необходимо учитывать как при разработке прогностических моделей, так и в оперативной работе.

**Ключевые слова:** ледовитость, межгодовые колебания, тенденции, типизация зим по суровости ледовых условий, иерархические районы первого уровня, Охотское море.

DOI: 10.7868/S0869587317050024

На неоднородный характер пространственно-временной изменчивости температуры воздуха на Земле указывает ряд фактов, которые свидетельствуют о её периодических (чаще неравномерных) колебаниях. Изменениям климата и их последствиям на территории России посвящена серия оценочных докладов, в подготовке которых участвовали ведущие научно-исследовательские учреждения Росгидромета, Российской академии наук и других организаций [1–3]. По результатам этих исследований, вариации климатических параметров в отдельных регионах значительно превышают глобальные. Так, в зоне 70–85° с.ш. обнаружены циклические колебания температуры воздуха и ледовитости продолжительностью около 60,

20, 10 лет и менее [4]. При этом установлено, что относительно холодный период 1957–1984 гг. в Арктике в очередной раз сменился тёплым, который продолжается по сей день [5].

Циклические колебания климата отчетливо проявляются и в изменчивости ледовитости Охотского моря [6]. Находясь в умеренных широтах, к юго-востоку от Полюса холода Северного полушария, оно подвержено влиянию муссонной циркуляции, формирующейся на границе самого большого материка и самого большого океана на земном шаре. Ввиду значительных размеров (протяжённость Охотского моря с юго-запада на северо-восток – более 2.5 тыс. км), особенностей циркуляции вод и воздушных масс, рельефа дна



ПИЩАЛЬНИК Владимир Михайлович – доктор технических наук, заведующий лабораторией дистанционного зондирования Земли НИИ опережающего развития СахГУ. МИНЕРВИН Игорь Георгиевич – кандидат физико-математических наук, профессор СахГУ. РОМАНЮК Валерий Анатольевич – научный сотрудник лаборатории дистанционного зондирования Земли НИИ опережающего развития СахГУ.

и конфигурации береговой черты гидрометеорологические условия отдельных районов моря существенно различаются. Определяющим фактором образования льда в Охотском море является влияние зимнего муссона, который не только доставляет на акваторию холодные воздушные массы, но и обуславливает постоянный дрейф льда. Следует отметить, что в период действия зимнего муссона поступление холодных воздушных масс на акваторию осуществляется по двум основным направлениям: с северо-запада — из районов, прилегающих к полюсу холода, центр которого находится около села Оймякон в Якутии, и с северо-востока — из Восточной Арктики. Данное обстоятельство определяет существенное различие условий генерации льда не только в северной и южной частях моря, но и в северо-западном и северо-восточном его районах, поскольку воздушные потоки существенно отличаются по своим метеорологическим характеристикам [6–8].

Совершенно иной характер процессов ледообразования наблюдается в южной части Охотского моря, расположенной в другом климатическом поясе (к югу от  $51^{\circ} 30'$  с.ш.). Образующийся в северных районах ледяной покров на фоне зимнего муссона и под воздействием воздушных потоков дрейфует в юго-восточном и юго-западном направлениях. При этом из-за термических и динамических факторов толщина льда постоянно нарастает. В результате формируется отличительная особенность ледяного покрова дальневосточных морей — увеличение толщины льда по мере продвижения его с севера на юг. Конфигурация островов, формирующая западную, южную и восточную границы Охотского моря, создаёт естественную ловушку для льда, непрерывно поступающего из северной части с января по март. По мере заполнения южной части моря лёд начинает выдавливаться через проливы в Японское море и Тихий океан. Особенности формирования ледовых условий и различия характеристик ледяного покрова на таксономическом уровне (как для всего моря, так и для отдельных его частей) позволили сформулировать идеологию нового подхода к изучению ледового режима и легли в основу разработки критериев для иерархического районирования ледяного покрова [7, 9].

Охотское море — одно из самых биопродуктивных в мире по развитию бентоса. Ихтиофауна включает более 300 видов, а промысловых видов — около 30. Оно даёт большую часть всего российского вылова лососёвых рыб. Кроме того, на шельфе Охотского моря в последние 20 лет идёт активная разведка и добыча углеводородов. Специфика разработки морских месторождений нефти и газа предусматривает круглогодичное транспортное (в том числе и судовое) обслуживание производственных объектов, естественным

препятствием для которого служит ледяной покров. Для устойчивого развития данного направления большое практическое значение имеет понимание процессов изменений ледового режима. Фундаментальная основа любых прогностических оценок — знание закономерностей изменчивости исследуемого явления в предшествующие периоды. В этой связи особый интерес представляет детальный анализ изменений ледового режима в районах первого иерархического уровня в современный период потепления.

**Методы изучения ледяного покрова.** С 1971 г. ведутся регулярные наблюдения за состоянием ледяного покрова с искусственных спутников Земли (ИСЗ) на основе пассивного зондирования. В настоящее время, наряду с данными дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в видимом и инфракрасном диапазонах, они являются главными источниками информации о состоянии ледяного покрова в арктических и замерзающих морях [9, 10]. С 1978 г. сплочённость льда определяется с помощью спутниковых наблюдений в микроволновой области спектра, на которую практически не влияют погодные условия и освещённость. Оценка результатов расчётов, полученных на основе данных ДЗЗ и авиационных наблюдений с 1971 по 1992 г. в Охотском море, показала, что после установки на ИСЗ спектрорадиометров нового поколения погрешность в определении площади ледяного покрова разными методами не превышала 2% [6, 11–13]. При этом точность определения сплочённости ледяного покрова по разным алгоритмам оценивается в 10% [14].

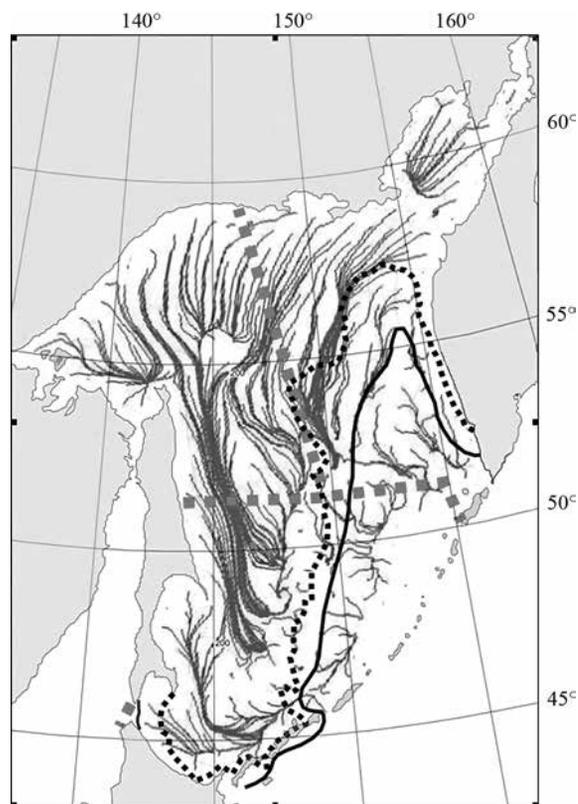
Несомненным достоинством спутниковых наблюдений считается съёмка всей акватории моря в режиме реального времени, то есть эти данные не имеют ошибок (искажений), связанных с асинхронностью наблюдений. Например, данные авиационных ледовых разведок приводились на середину декады [15], а судовых — на середину месяца [16, 17].

В рамках проведённых исследований площадь ледяного покрова Охотского моря в целом и его отдельных районов рассчитывалась в период 1979–2015 гг. один раз в пентаду (пять суток) с помощью разработанного в Сахалинском государственном университете программного комплекса “Лёд” [13] с использованием цветокодированных карт-схем ледяного покрова, находящихся в свободном доступе в Интернете [17]. Установлено, что вариации площади массива льда в отдельных районах первого иерархического уровня на стадии его формирования могут достигать 25% в течение 5–10 суток, поэтому для повышения устойчивости среднемесячных характеристик значения ледовитости усреднялись за 10-е, 15-е и 20-е число каждого зимнего месяца. Расчёт средней величины

ледовитости за сезон проводился путём усреднения её среднемесячных значений с декабря по май. В результате были сформированы ряды внутрисезонной и межсезонной (межгодовой) изменчивости площади ледяного покрова для каждого района первого иерархического уровня [9]. Для корректного сравнения расчётных значений ледовитость была вычислена в виде отношения занятой льдом площади ко всей площади моря в процентах. По полученным данным рассчитывались аномалии ледовитости относительно климатической нормы за 1981–2010 гг. Анализ многолетнего хода аномалий осуществлялся с помощью метода интегральных кривых, которые вычислялись путём последовательного алгебраического суммирования величин аномалий за каждый ледовый сезон. Подобная интегральная кривая наглядно характеризует многолетнюю изменчивость исследуемого параметра [18].

Методические основы районирования Охотского моря по характеру формирования и эволюции ледяного покрова представлены в работах [9, 19], в которых говорится о необходимости разделения северной части моря на два самостоятельных ледовых района. Помимо упомянутых ранее двух основных воздушных потоков, под воздействием которых происходит формирование северо-западного и северо-восточного массивов льда и осуществляется их дрейф, дополнительным аргументом необходимости их разделения являются гидрологические условия. Западно-Камчатское течение (ЗКТ), которое относительно окружающих его вод является тёплым, на участке от 50 до 56° с.ш. растапливает лёд и фактически разрезает массив льда на две самостоятельные части (рис. 1).

В тёплый период в Охотском море произошло смещение среднего местоположения кромки льда, рассчитанного относительно стандартной нормы 1961–1990 гг. [15]: в северном и западном направлениях на 50–70 миль, в восточном – на 15–20 миль. Таким образом, в начале XXI в. среднее положение западной границы “восточного канала” от 51 до 55° с.ш. фактически стало естественной границей, разделяющей северо-западный и северо-восточный массивы льда [20]. На карте-схеме, построенной японскими исследователями по результатам наблюдений спутникового пассивного микроволнового радиометра SSS/I, приведены усреднённые траектории дрейфа льда за 1993–2001 гг. [21]. Они не противоречат расчётной схеме дрейфа льда в Охотском море, построенной за 1957–1960 гг. Л.П. Якуниным [15]. В 1960-е годы на фоне повышения ледовитости моря значительные объёмы льда из северо-восточного района проникали в северо-западный и частично в южный ледовые районы. Сейчас весь образующийся в северо-восточной части моря лёд под воздействием тёплых вод ЗКТ разрушается в прикромочной зоне и практически не поступает ни в северо-западную, ни в южную часть. Напрашивается вывод: массивы льда, сформировавшиеся в северо-западной и северо-восточной частях



**Рис. 1.** Усреднённые с 1993 по 2001 г. траектории дрейфа льда и среднее положение кромки льда за 1961–1990 (сплошная линия) и 1981–2010 гг. (мелкий пунктир)  
Крупный пунктир – границы районов первого иерархического уровня

Охотского моря в период потепления, который характеризуется преобладанием нормальных и мягких типов зим, имеют чётко выраженную границу и практически не смешиваются, что делает их разделение вполне обоснованным.

Классификация типов зим по суровости ледовых условий в выделенных районах осуществлялась по вычисленным аномалиям ледовитости на основе количественного критерия  $0.8 \sigma$ , широко применяемого при оценке достоверности и эффективности долгосрочных гидрометеорологических прогнозов. Согласно разработанным критериям [22], значение  $1.2 \sigma$  служит границей крупной положительной или отрицательной аномалии. Используя диапазон  $0.8 \sigma$ , мы выделили пять типов зим:

- экстремально суровая ( $\geq +1.2 \sigma$ );
- суровая ( $\geq +0.4 \sigma - < +1.2 \sigma$ );
- умеренная ( $< +0.4 \sigma - > -0.4 \sigma$ );
- мягкая ( $\leq -0.4 \sigma - < -1.2 \sigma$ );
- экстремально мягкая ( $\leq -1.2 \sigma$ ).

**Таблица 1.** Характеристика типов зим по суровости ледовых условий в районах первого иерархического уровня Охотского моря

Год	Охотское море в целом	Северная часть	Северо-западная часть	Северо-восточная часть	Южная часть
1979	Экстремально суровая	Экстремально суровая	Экстремально суровая	Экстремально суровая	Экстремально суровая
1980	Экстремально суровая	Экстремально суровая	Экстремально суровая	Экстремально суровая	Экстремально суровая
1981	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1982	Суровая	Суровая	Суровая	Суровая	Суровая
1983	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1984	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1985	Суровая	Суровая	Суровая	Суровая	Суровая
1986	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1987	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1988	Суровая	Суровая	Суровая	Суровая	Суровая
1989	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1990	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1991	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1992	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1993	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1994	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1995	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1996	Суровая	Суровая	Суровая	Суровая	Суровая
1997	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1998	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
1999	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2000	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2001	Экстремально суровая	Экстремально суровая	Экстремально суровая	Экстремально суровая	Экстремально суровая
2002	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2003	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2004	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2005	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2006	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2007	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2008	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2009	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2010	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2011	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2012	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2013	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2014	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная
2015	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная	Умеренная

Экстремально суровая    Суровая    Умеренная    Мягкая    Экстремально мягкая

Предложенная типизация позволила существенно детализировать исследования и выявить новые особенности ледового режима.

**Повторяемость различных типов зим.** Подробный анализ повторяемости типов зим для всего Охотского моря за 1882–2015 гг. был выполнен в работе [6]. С точки зрения обеспечения шельфовых проектов ледовой информацией наибольший практический интерес представляет анализ повторяемости типов зим в различных частях Охотского моря в период потепления. Как уже отмечалось ранее, в данной работе в качестве объектов исследования были выбраны ледовые районы первого иерархического

уровня с характерными пространственными масштабами более 400 тыс. км<sup>2</sup>, которым соответствуют сезонный и климатический временные масштабы. Они выделены как единые аквальные комплексы, для характеристики которых использовались климатические показатели, а границы таксонов определялись на основе географических принципов и широтного зонирования [7]. К ним относятся северо-западная и северо-восточная части Охотского моря площадью 432.3 и 592.1 тыс. км<sup>2</sup> соответственно, а также северная и южная его части – 1024.4 и 578.8 тыс. км<sup>2</sup> соответственно и, естественно, акватория моря в целом – 1603.2 тыс. км<sup>2</sup> [9].

Установлено, что причины, определяющие различия в условиях формирования ледяного покрова в отдельных районах моря – это тип преобладающей циркуляции атмосферы и тесно связанная с ним температура воздушных масс, а также циркуляция вод. Наглядное представление о пространственно-временном распределении типов зим в выделенных районах даёт анализ календаря межгодовых колебаний ледовитости (табл. 1). Ледовые условия в районах Охотского моря существенно различаются. Совпадение типов зим во всех районах происходит относительно редко, оно наблюдалось 11 раз в течение 37-летнего временного интервала. Данное явление характерно в основном для умеренных, (1981, 1987, 1998 и 2012 гг.), экстремально суровых, (1979, 1980, 2001 гг.) и экстремально мягких, (2009, 2015 гг.) типов зим. Тем не менее оно может наблюдаться и в суровых, (1999 г.) и в мягких, (2008 г.) зимы. Следует отметить, что в сформированном ряду ледовитости Охотского моря с 1882 по 2015 г. максимальная повторяемость суровых и экстремально суровых зим наблюдалась в период резкого повышения ледовитости в 1902–1922 гг. и в последующий период повышенной ледовитости 1923–1957 гг. (9 и 11% соответственно). Повторяемость мягких зим колебалась от 1 до 8%. Экстремально мягкие зимы стали выделяться в самостоятельный тип только с 1991 г. В период потепления повторяемость мягких и экстремально мягких зим возросла более чем вдвое и достигла 18%, а суровых и экстремально суровых понизилась в 5 раз (с 9–11 до 2%) [6]. Это позволяет утверждать, что величина ледовитости для всего Охотского моря в большинстве случаев не может быть индикатором типов зим в ледовых районах первого иерархического уровня. В частности, в отдельные годы в различных районах можно наблюдать одновременно все основные типы зим (кроме экстремальных). Примером являются ледовые сезоны 1986, 1993 и 1995 гг. Также подтверждено, что тип зимы для всего Охотского моря достаточно часто определяется типом зимы в его северной части [23] (табл. 2).

Таким образом, площадь ледяного покрова в Охотском море не всегда служит репрезентативным показателем суровости зимы в отдельных его

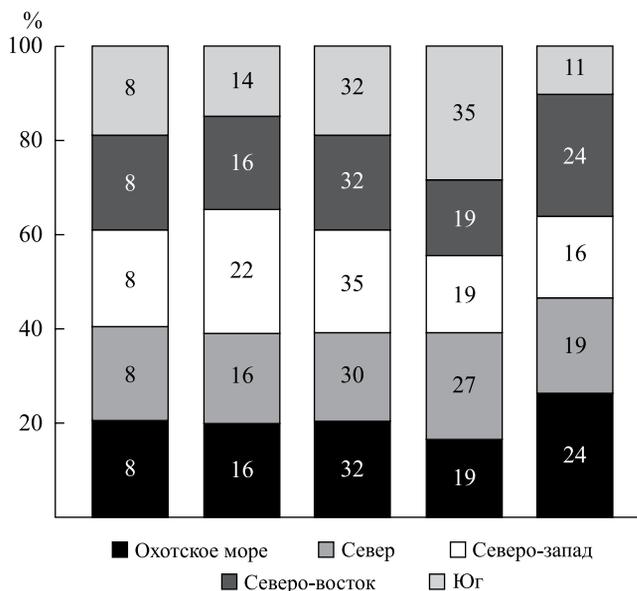
районах. Это особенно важно учитывать при оперативном обеспечении ледовой информацией судов, участвующих в зимней навигации, и при разработке ледовых прогнозов. Существенное повышение точности оценки типов зим в дальнейшем может быть достигнуто при переходе от площади ледяного массива к его объёму путём учёта сплочённости и толщины [6, 24].

Наибольшее совпадение типов зим в Охотском море в целом и в его северной части (84%) обусловлено тем, что на северную часть приходится 2/3 площади моря и расположена она в одном климатическом поясе (к северу от 51° 30' с.ш.). Южная часть моря относится к другой климатической зоне [7]. Для всего Охотского моря и ледовых районов, составляющих его северную часть, процент совпадений типов зим заметно ниже (в северо-западной – 73%, в северо-восточной – 62%), но суммарный их вклад в ледовитость северной части оказывается более значимым [6]. Другими словами, тип зимы в северной части моря в большинстве случаев определяет характер ледовых условий всего моря, и его целесообразно использовать в качестве предиктора при прогнозировании ледовитости отдельных районов. Данное обстоятельство необходимо учитывать и при разработке алгоритма прогноза ледовитости Охотского моря в целом. Минимальное совпадение типов зим (35%) наблюдается между южной и северо-восточной частями.

Особенности распределения типов зим в районах первого иерархического уровня хорошо видны

**Таблица 2.** Повторяемость совпадений типов зим между отдельными акваториями, %

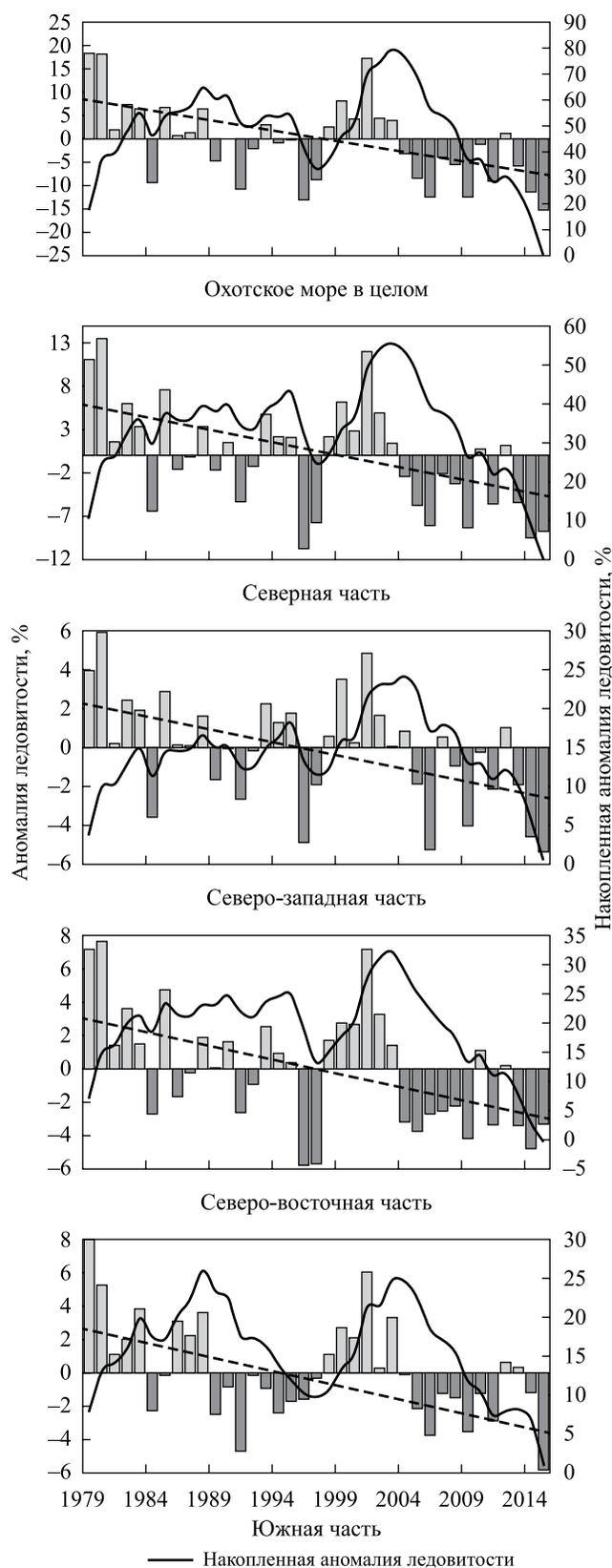
Район	Охотское море в целом	Северо-восточная часть	Северо-западная часть	Северная часть	Южная часть
Охотское море в целом	100	73	62	84	51
Северо-восточная часть	—	100	59	76	35
Северо-западная часть	—	—	100	84	54
Северная часть	—	—	—	100	46
Южная часть	—	—	—	—	100



**Рис. 2.** Повторяемость типов зим в районах первого иерархического уровня Охотского моря в 1979–2015 гг.

на графике (рис. 2). Например, повторяемость экстремально суровых зим во всех районах одинакова (8%). Суровых зим больше всего в северо-западной части, что в сочетании с экстремально суровыми зимами при прочих равных условиях делает её самым холодным районом Охотского моря. Процент экстремально мягких зим для северо-восточной части и всего моря одинаков (24%). Минимальное количество таких зим наблюдается в южной части моря, это является косвенным подтверждением сделанного ранее вывода, что в формировании ледовитости этого района значительная роль принадлежит адвекции льда из северных районов [7]. Суммарная повторяемость здесь экстремально мягких и мягких зим составляет 46%. В южной части моря также отмечен минимальный процент суммарной повторяемости экстремально суровых и суровых зим (22%). На этом фоне повторяемость умеренных типов зим во всех исследуемых районах практически одинакова – от 32 до 35%. Особо отметим, что относительно восстановленного 135-летнего ряда наблюдений в исследуемый период повторяемость экстремально суровых и суровых зим в Охотском море уменьшилась с 31 до 24%, а повторяемость экстремально мягких и мягких зим увеличилась с 35 до 43% [6].

Из вышесказанного следует, что использовать критерий “тип зимы” для анализа ледовых условий нужно с осторожностью, поскольку в каждом иерархическом районе любого уровня можно выделить группу доминирующих факторов, которая в конечном счёте и определяет тип зимы на конкретной акватории в конкретный временной период.



**Рис. 3.** Интегральные кривые аномалий ледовитости в районах первого иерархического уровня, вычисленные относительно климатической нормы 1981–2010 гг., и значимый на 95%-ном уровне линейный тренд за 1979–2015 гг.

**Динамика межгодовых колебаний аномалий ледовитости.** В работе [6] установлено, что на интегральной кривой ледовитости Охотского моря медленное накопление положительных аномалий происходило с 1882 по 1901 г. и с 1932 по 1978 г. На этой кривой также выделялись периоды резкого повышения (1902–1931) и понижения (1979–2015) аномалий ледовитости. В это же время в ряду межгодовых колебаний ледовитости выделялись продолжительные периоды с положительной (1902–1922, 1958–1979) и отрицательной (1882–1901, 1923–1957, 1980–2015) тенденциями. Продолжительность выделенных периодов колебаний ледовитости (кроме последнего тёплого периода, который длится уже 37 лет) хорошо согласуется с продолжительностью макроциркуляционных эпох, выделенных О.И. Думанской [25]. Однако годы смены направленности трендов изменения ледовитости Охотского моря более тяготеют к серединам эпох, чем к датам их смены. Строгой зависимости между колебаниями аномалий ледовитости Охотского моря и преобладающей формой циркуляции не прослеживается. Вместе с тем в период медленного накопления положительных аномалий ледовитости в Охотском море (на интегральной кривой с 1932 по 1976 г. [6]) преобладали восточная (E) и северная (N) формы циркуляции (38.6 и 31.8% соответственно), а в период накопления положительных аномалий (тёплый период) – восточная (E) и западная (W) (41.2 и 50.0% соответственно). Если предположить, что восточная форма циркуляции вносит одинаковый вклад во все макроциркуляционные эпохи, то тип зимы в Охотском море должен определяться активностью северной (для более суровых зим) или западной (для более мягких зим) её форм. Проверка данного предположения требует проведения дополнительных исследований.

На интегральной кривой аномалий ледовитости всего Охотского моря в 1979–2015 гг. выделяются два максимума 1988 и 2003 гг. и один минимум 1997 г. (рис. 3). В других районах первого уровня максимум 1988 г. отчётливо прослеживается только в южной части моря. Этот факт позволяет сделать вывод, что именно колебания ледовитости в южной части обусловили характер изменчивости интегральной кривой для всего моря.

В северной части Охотского моря период с 1979 по 1995 г. характеризовался относительно стабильным накоплением положительных аномалий ледовитости с чередованием трёх- и четырёхлетних периодов 5%-ного повышения или понижения их абсолютных значений. Следовательно, максимум положительных аномалий ледовитости 1988 г. на интегральной кривой определялся локальным повышением ледовитости южной части моря и был обусловлен выносом холодных воздушных масс по южному коридору в 1983–1988 гг. В указанный период повышенная ледовитость

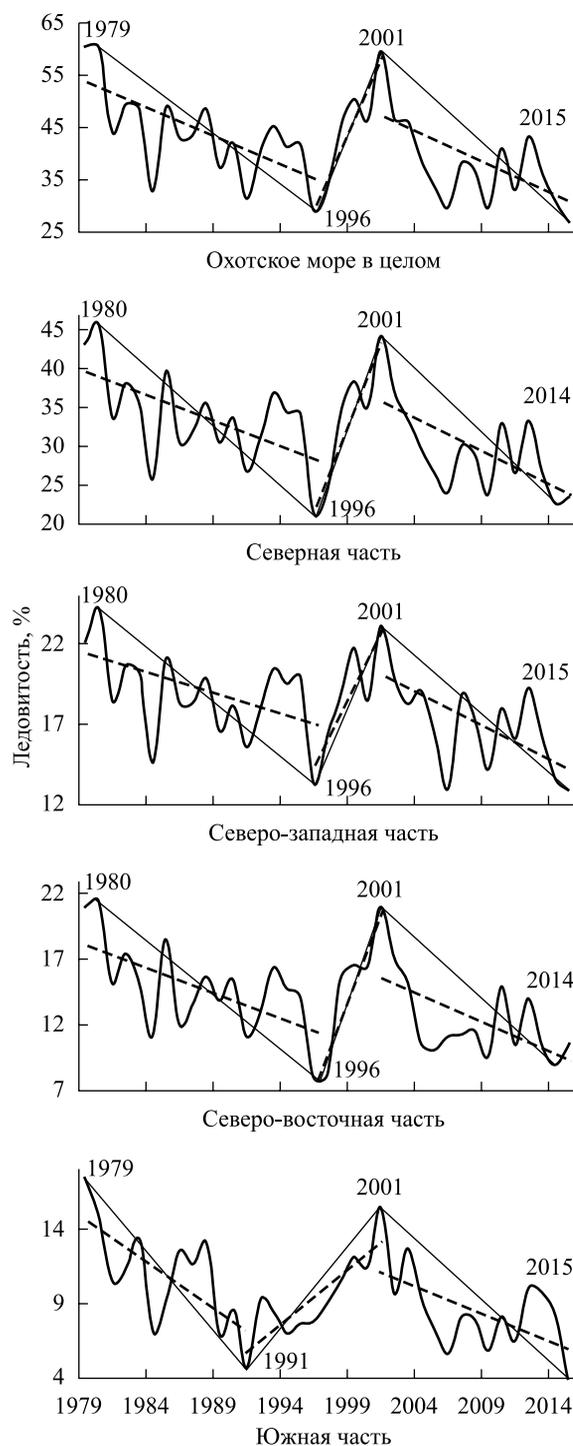
отмечалась и в Татарском проливе (абсолютный максимум был достигнут в 1985 г.) [26]. По исследованиям Т.А. Шатилиной и других [27], период с 1963 по 1987 г. классифицирован как холодный в области Цусимского течения, а в 1981–1987 г. наблюдалось экстремальное понижение температуры вод в области Курошио.

Минимумы интегральных кривых в 1997 г. и максимумы в 2003 г. хорошо выражены во всех районах, следовательно, процессы повышения и понижения аномалий ледовитости наблюдались практически синхронно с 1997 по 2003 г. и с 2003 по 2015 г. соответственно. Эти процессы происходили на фоне ослабления азиатского антициклона в холодный период года (1992–2010) и усиления с 1998 г. тропосферного антициклона в весенний период [27].

Анализ изменений аномалий ледовитости в Охотском море выявил общую тенденцию их снижения на 15% (значимый на 95%-ном уровне линейный тренд), что соответствует сокращению площади льда приблизительно на 240 тыс. км<sup>2</sup>. При этом скорость уменьшения ледовитости (4.1% за 10 лет) в 3 раза превышает её средние темпы за всю историю наблюдений с 1882 по 2015 г. [6].

В исследуемый промежуток времени во всех ледовых районах Охотского моря можно выделить периоды с положительной в 1996–2001 гг. (в южном районе – 1991–2001 гг.) и отрицательной в 1979–1996 гг. (в южном районе – 1979–1991 гг.) и 2001–2015 гг. тенденциями изменения площади ледяного покрова, продолжительность которых варьируется от 6 до 15 лет (рис. 4). Выделенные тренды являются статистически значимыми при уровне доверительной вероятности 95%. Ледовитость Охотского моря в периоды её понижения сокращалась в среднем на 17–18% (1979–1996 и 2001–2015 гг. соответственно), а за 6-летний период увеличения (2001–2016) возросла на 27%. Соизмеримые величины уменьшения (3–6%) и увеличения (8%) ледовитости характерны для северо-западного ледового района. Это обусловлено стабильностью процессов генерации льда за счёт термических факторов и практически полной заполняемости его льдом. В южном ледовом районе отмечались минимальные различия величин уменьшения (5–8%) и увеличения (8%) ледовитости в выделенные периоды. Данный факт свидетельствует о том, что количество льда, поступающего в южную часть моря из северных районов постоянно и на фоне фактического отсутствия собственных источников генерации льда, практически не зависит ни от направленности тенденции развития ледовых процессов, ни от типа зим.

Статистические характеристики вариаций ледовитости и её аномалий для периодов с различными тенденциями направленности развития ледовых процессов представлены в таблице 3. Средняя



**Рис. 4.** Многолетние изменения ледовитости в районах первого иерархического уровня Охотского моря и значимые на 95%-ном уровне линейные тренды (пунктир) за 1979–2015 гг.

ледовитость Охотского моря для тёплого периода составила 41.9%, что на 7% меньше, чем за всё время наблюдений, начиная с 1929 г., при размахе колебаний 32.5%. Средняя ледовитость северо-западного, северо-восточного и южного ледовых районов относительно площади всего моря составляет

**Таблица 3.** Статистические характеристики ледовитости и её аномалий в районах первого иерархического уровня Охотского моря в выделенные периоды, %

Период	Ледовитость				Аномалия			
	Максимум	Минимум	Среднее	Размах	Максимум	Минимум	Среднее	Размах
<b>Охотское море в целом</b>								
1979–1996	60.5	29.1	43.8	31.4	19.1	–12.3	2.4	31.4
1996–2001	59.5	29.1	43.9	30.3	18.1	–12.3	2.5	30.3
2001–2015	59.5	26.9	38.0	32.5	18.1	–14.5	–3.4	32.5
<b>Северная часть</b>								
1979–1996	45.6	21.3	33.7	24.3	13.7	–10.6	1.8	24.3
1996–2001	44.0	21.3	32.9	22.7	12.1	–10.6	1.0	22.7
2001–2015	44.0	22.6	29.5	21.4	12.1	–9.3	–2.4	21.4
<b>Северо-западная часть</b>								
1979–1996	24.1	13.3	18.9	10.8	6.0	–4.8	0.8	10.8
1996–2001	23.1	13.3	18.6	9.7	5.0	–4.8	0.5	9.7
2001–2015	23.1	12.9	17.1	10.2	5.0	–5.2	–1.0	10.2
<b>Северо-восточная часть</b>								
1979–1996	21.4	8.0	14.9	13.5	7.6	–5.8	1.1	13.5
1996–2001	21.0	8.0	14.2	13.0	7.2	–5.8	0.4	13.0
2001–2015	21.0	9.0	12.4	12.0	7.2	–4.8	–1.4	12.0
<b>Южная часть</b>								
1979–1991	17.4	4.7	10.8	12.7	7.9	–4.8	1.3	12.7
1991–2001	15.4	4.7	9.4	10.8	5.9	–4.8	–0.1	10.8
2001–2015	15.4	3.6	8.5	11.9	5.9	–5.8	–1.0	11.8

18.2, 13.8 и 9.6% соответственно. Наиболее стабильные показатели ледовитости характерны для северо-западного ледового района, который практически полностью заполняется льдом в суровые и умеренные зимы; в северо-восточном и южном ледовых районах – в период понижения ледовитости с 1979 (во всей северной части – с 1980 г.) по 1996 г. (в южной части – с 1979 по 1991 г.). Наибольший размах колебаний ледовитости в Охотском море наблюдался на фоне понижения ледовитости в 2001–2015 гг.

Спектральный анализ – один из методов обработки сигналов, который позволяет охарактеризовать их

частотно-временной состав. Преобразование Фурье – математическая основа, которая связывает временной или пространственный сигнал с его представлением в частотной области. Все природные процессы (в том числе и ледовитость) являются коррелированными. Поскольку они имеют ограниченную мощность и, следовательно, ограниченную полосу частот, мы можем применить гармонический анализ к непериодическим межгодовым колебаниям ледовитости Охотского моря.

По результатам спектрального анализа выделяются четыре временных интервала изменчивости ледовитости Охотского моря с 1929 по 2015 г.:

6 лет – переход от минимальной ледовитости к максимальной; 16 лет – переход от максимальной ледовитости к минимальной; 22 года – полный переход от минимума к следующему минимуму ледовитости; 61 год – цикл основного климатообразующего колебания в Арктической зоне в XX в. [4]. Закономерности чередования основных максимумов и минимумов ледовитости отчётливо прослеживаются и в период потепления (см. рис. 4).

Сроки наступления максимума 1979–1980 гг. в иерархических ледовых районах первого уровня различаются в пределах одного года. Однако следующий максимум ледовитости наступил в 2001 г. одновременно во всех районах. Более сложная картина наблюдается в сроках наступления основных минимумов. Так, в ледовых районах, определяющих колебания ледовитости всего Охотского моря, включая его северную часть, минимальная ледовитость зафиксирована в 1996 г., в то время как в южном ледовом районе это событие было зафиксировано в 1991 г. Данное обстоятельство ещё раз указывает на то, что в формировании ледовитости северо-западного и северо-восточного районов большую роль играет атмосферная циркуляция, несмотря на активное влияние Полюса холода Северного полушария на скорость генерации льда во всей северной части Охотского моря. Сроки наступления абсолютного минимума ледовитости в различных районах Охотского моря (2014–2015) так же, как и основного максимума (1979–1980), наблюдались со смещением на один год. Эти временные различия с большой долей вероятности могут быть обусловлены флуктуациями центров действия атмосферы в Азиатско-Тихоокеанском регионе [27].

Учитывая обнаруженную зависимость чередования основных максимумов и минимумов ледовитости Охотского моря, можно предположить, что с 2016 г. будет формироваться очередной основной максимум ледовитости, который наступит в 2022 г.  $\pm 1$  год, а величина его с учётом общей тенденции понижения ледовитости будет составлять  $55 \pm 3\%$ . Заметим, что прогноз вариаций площади ледяного покрова методом последовательных спектров, предложенный в 2011 г. [24], также показывает рост площади ледяного покрова Охотского моря в ледовые сезоны 2021 и 2022 г. выше средних величин.

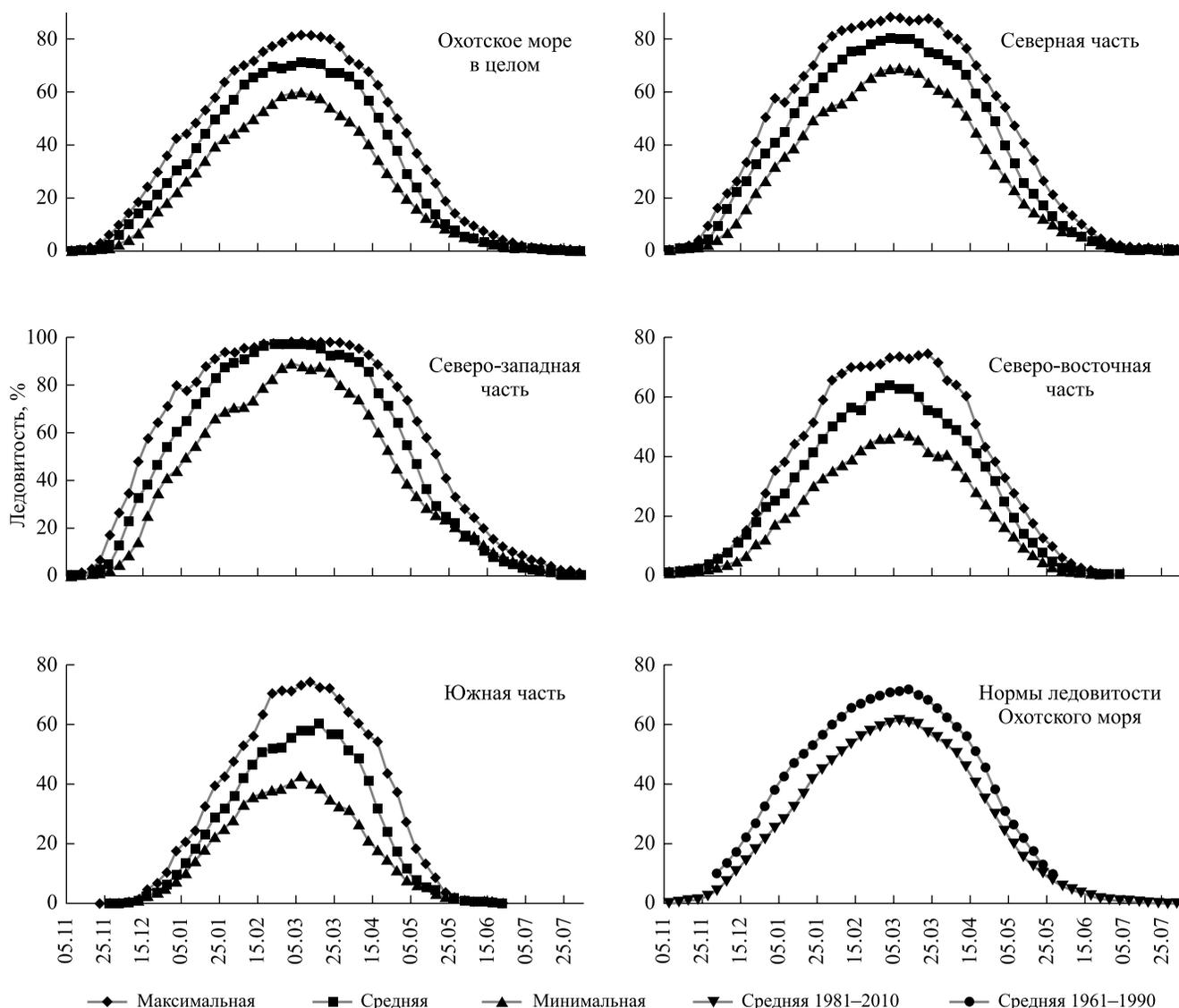
**Особенности годового хода ледовитости в ледовых районах первого иерархического уровня Охотского моря в различные типы зим.** Для лучшего восприятия графической информации расчёты средних значений ледовитости за 1979–2015 гг. в районах первого иерархического уровня Охотского моря выполнены только для основных типов зим – суровых, умеренных и мягких (рис. 5). На графиках хорошо видны различия в характере заполняемости льдами

отдельных районов. Практически полное заполнение акватории льдом (~98%) отмечается только в северо-западном районе в суровые и умеренные зимы. Период, когда максимальная ледовитость превышает 90% общей площади района, составляет 20–30 суток. Полного заполнения льдом других районов не происходит: в суровые зимы северная часть моря наполняется льдом на ~89%, северо-восточная и южная части – на 81 и 68% соответственно, а море в целом – на 80%.

Хорошо выраженные колебания ледовитости в течение всего ледового сезона характерны для всех районов первого иерархического уровня во все типы зим, кроме моря в целом, где они заметно сглаживаются. Скачкообразные уменьшения ледовитости в различных частях моря обусловлены выходом на их акваторию глубоких циклонов. Воздействие на ледяной массив сильных ветров восточных румбов обуславливает смену направления дрейфа льда, в результате чего происходят его сжатие и торошение, закрываются обширные прибрежные полыньи, заполненные начальными видами льда, и площадь массива (особенно на стадии его формирования) в отдельные годы может уменьшаться на 20–25% в течение одной или двух пентад, как это наблюдалось в 1983, 1999 и 2002 гг.

Разрушение массива льда во всех районах происходит по схожему сценарию: площадь ледяного покрова равномерно уменьшается с марта по май. В мае исчезают различия между величиной ледовитости в умеренные и мягкие зимы. В суровые зимы разрушение основного массива льда затягивается примерно на месяц – до середины июня.

Особое внимание следует обратить на различия годового хода ледовитости Охотского моря в периоды основной (1961–1990) и оперативной (1981–2010) климатических норм. На стадии развития ледовых процессов (декабрь–январь) в современный период наблюдается запаздывание сроков достижения одинаковых значений ледовитости на 7–10 суток, а на стадии разрушения (апрель–май) процессы начинаются на пентаду раньше (см. рис. 5). Наступление максимума в годовом ходе в середине сезона сместилось в сторону более ранних сроков в среднем на 5 суток. Площадь ледяного покрова в Охотском море на разных стадиях его развития в тёплый период уменьшилась со 100 до 200 тыс. км<sup>2</sup> относительно нормы 1961–1990 гг. Такой характер изменения ледовитости и продолжительности ледового сезона подтверждается данными гидрометеорологических станций [8]. Интересно, что в Татарском проливе (Японское море) в пределах точности расчётов не выявлено климатических изменений как в сроках наступления различных ледовых фаз, так и в изменчивости площади массива льда [12, 26].



**Рис. 5.** Годовой ход средних значений ледовитости для основных типов зим в районах первого иерархического уровня Охотского моря в период потепления и нормы ледовитости в Охотском море, рассчитанные для 1961–1990 и 1981–2010 гг.

Сроки наступления максимумов ледовитости в районах первого иерархического уровня в основные типы зим определены с учётом дискретности ледовых наблюдений (табл. 4). Самое раннее достижение максимума ледовитости (20 февраля) происходит в умеренные зимы в северной части

Охотского моря, самое позднее (15 марта) – в южной части моря также в умеренные зимы. Средняя дата наступления максимума ледовитости для моря в целом в тёплый период приходится на 5 марта, что на 10 дней раньше даты, которая была определена для климатической нормы 1961–1990 гг. [15].

**Таблица 4.** Средние даты наступления максимума ледовитости в районах первого иерархического уровня Охотского моря в различные типы зим в 1979–2015 гг.

Тип зимы	Охотское море в целом	Северная часть	Северо-западная часть	Северо-восточная часть	Южная часть
Суровая	05.03	05.03	05.03	10.03	05.03
Умеренная	05.03	20.02	05.03	10.03	15.03
Мягкая	05.03	05.03	28.02	28.02	05.03

\* \* \*

Авторами статьи впервые был проведен анализ изменений ледовитости районов первого иерархического уровня Охотского моря с конца 1970-х годов прошлого столетия, то есть в период потепления, который продолжается по настоящее время.

Среднее значение ледовитости Охотского моря за 1979–2015 гг. составило 41.9% (на 7% меньше, чем за весь период наблюдений с 1929 г.) при диапазоне варьирования 32.5%. Снижение средней ледовитости составило 15%, что соответствует сокращению площади льда в море на 240 тыс. км<sup>2</sup>. Интенсивность уменьшения ледовитости Охотского моря составила 4.1% за 10 лет, что в 3 раза превышает средний показатель сокращения ледовитости моря за период с 1882 по 2015 г.

Различия в годовом ходе ледовитости Охотского моря, вычисленные для периодов основной (1961–1990 гг.) и оперативной (1981–2010 гг.) климатических норм, позволяют заключить, что во время потепления площадь ледяного покрова в Охотском море на стадии ледообразования на одинаковые даты уменьшилась в среднем на 200 тыс. км<sup>2</sup>, а на стадии разрушения – на 100 тыс. км<sup>2</sup>. Сроки наступления максимума в годовом ходе сместились в среднем на 5 суток в сторону более ранних.

Наиболее продолжительный период отрицательных аномалий ледовитости Охотского моря наблюдался с 2004 по 2015 г. В этот экстремально тёплый период количество мягких и экстремально мягких зим достигало 86%, в то время как положительные аномалии практически отсутствовали. Наибольшее сокращение площади ледяного покрова пришлось на 2015 г.: максимальное значение отрицательной аномалии составило 22.1%.

Для всех ледовых районов Охотского моря первого иерархического уровня выделены периоды с положительной (1996–2001 гг., в южном районе – 1991–2001 гг.) и отрицательной (1979–1996 гг., в южном районе – 1979–1991 гг., для всех районов – 2001–2015 гг.) тенденцией изменения площади льда, продолжительность которых варьируется в пределах от 6 до 15 лет. Для всего Охотского моря за 6-летний период повышения ледовитости она увеличивалась в среднем на 27%. В периоды понижения ледовитости (1979–1996 и 2001–2015 гг.) она снижалась на 17 и 18% соответственно. Минимальные различия в изменчивости величин ледовитости как в сторону повышения (8%), так и в сторону понижения (5–8%) наблюдались в южной части моря, что свидетельствует об относительно равномерном поступлении льда из северных районов независимо от типа зимы.

Характер развития ледовых условий в границах района первого иерархического уровня в течение

одного ледового сезона может существенно различаться. Например, в одном ледовом районе процессы ледообразования могут развиваться по типу суровых зим, а разрушения – по типу мягких. Совпадение суровости ледовых условий во всех районах одновременно происходит относительно редко (не более 30% случаев). Полученные результаты свидетельствуют о том, что разрабатывать методы долгосрочных прогнозов ледовитости Охотского моря необходимо на основе изменчивости площади ледяного покрова в районах первого иерархического уровня с учётом доминирующего типа атмосферной циркуляции. Исходя из этого, использовать для анализа ледовых условий критерий “тип зимы” надо с осторожностью.

Была установлена зависимость чередования максимумов и минимумов ледовитости Охотского моря: переход от минимальной ледовитости к максимальной составляет 6+1 год, переход от максимальной ледовитости к минимальной – 16+1 год. Можно предположить, что очередной максимум ледовитости следует ожидать в 2021–2022 гг., а величина его с учётом общей тенденции понижения ледовитости будет составлять 55 ± 3%.

Детальный анализ особенностей изменчивости ледовитости в районах второго и последующих иерархических уровней – задача будущих исследований.

Авторы выражают благодарность кандидату географических наук С.А. Покрашенко, кандидату географических наук Ю.В. Любичкому за конструктивные замечания, высказанные ими в процессе подготовки работы, и лаборанту И.В. Шумилову за помощь в обработке данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://climate2008.igce.ru/>
2. [http://downloads.igce.ru/publications/OD\\_2\\_2014/v2014/htm/1.htm](http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/htm/1.htm)
3. <http://www.meteorf.ru/upload/iblock/23a/Izmenenie-klimata-N53-FebMar-2015.pdf>
4. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П. и др. Климатические изменения ледовых условий в арктических морях Евразийского шельфа // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 75. С. 149–160.
5. [www.wwf.ru/resources/publ/book/916](http://www.wwf.ru/resources/publ/book/916)
6. Пищальник В.М., Романюк В.А., Минервин И.Г., Батухтина А.С. Анализ динамики аномалий ледовитости Охотского моря в период с 1882 по 2015 г. // Известия ТИНРО. 2016. Т. 185. С. 228–239.
7. Моделирование динамики природных процессов в Охотском и Японском морях в целях обеспечения безопасности обустройства и эксплуатации месторождений углеводородов на

- шельфе о. Сахалин / Рук. раб. д.т.н. В.М. Пищальник. Регистрационный номер НИОКР 114042140017, регистрационный номер ИКРБС ААА-Б16–216032270071–7, 22.03.2016.
8. *Думанская И.О.* Изменение климатических ледовых характеристик Охотского моря в конце XX – начале XXI века // Труды Гидрометцентра России. 2013. Вып. 350. С. 110–141.
  9. *Минервин И.Г., Романюк В.А., Пищальник В.М. и др.* Районирование ледяного покрова Охотского и Японского морей // Вестник РАН. 2015. № 1. С. 24–32.
  10. <http://www.iup.uni-bremen.de:8084/amsr2/>
  11. [http://sharaku.eorc.jaxa.jp/ADEOS2/SEAICE/help/help\\_j.html](http://sharaku.eorc.jaxa.jp/ADEOS2/SEAICE/help/help_j.html)
  12. *Пищальник В.М., Минервин И.Г., Романюк В.А.* Особенности ледовых условий в Охотском море и Татарском проливе в зимний сезон 2014–2015 гг. // Физика геосфер: IX Всероссийский симпозиум, 31 августа – 4 сентября 2015 г. Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 171–177.
  13. *Пищальник В.М., Минервин И.Г., Романюк В.А.* Основные принципы работы программного комплекса “Лёд” // Физика геосфер: IX Всероссийский симпозиум, 31 августа – 4 сентября 2015 г. Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 556–561.
  14. *Тихонов В.В., Раев М.Д., Шарков Е.А. и др.* Спутниковая микроволновая радиометрия морского льда полярных регионов. Обзор // Исследование Земли из космоса. 2016. № 4. С. 65–84.
  15. *Плотников В.В., Якунин Л.П., Петров В.А.* Ледовые условия и методы их прогнозирования // Проект “Моря”. Гидрология и гидрохимия морей. Т. IX. Вып. 1. СПб.: Гидрометеиздат, 1998. С. 291–340.
  16. *Крындин А.Н.* Сезонные и межгодовые изменения ледовитости и кромки льда на дальневосточных морях в связи с особенностями атмосферной циркуляции // Труды ГОИН. 1964. № 71. С. 5–81.
  17. <http://www.data.jma.go.jp>
  18. *Гирс А.А.* Методы долгосрочных прогнозов погоды. Л.: ГМИ, 1978.
  19. *Pishchalnik V.M., Tambovsky V.S., Truskov P.A. et al.* Okhotsk Sea Ice Cover Zoning // Proceedings of the 28<sup>th</sup> International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. 17–21 February 2013, Mombetsu, Hokkaido. P. 312–315.
  20. *Pishchalnik, V.M., Minervin I.G., Romanyuk V.A., Batukhtina A.S.* On the modern climate shift in the regime of iciness of the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan // Proceedings of the 30<sup>th</sup> International Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice. 2015. Mombetsu, Hokkaido. P. 99–102.
  21. *Enomoto H., Kumano T., Kimura N. et al.* Sea-ice motion in the Okhotsk Sea derived by microwave sensors // Proc. 13<sup>th</sup> International Offshore and Polar Engineering Conference. 2003. Honolulu, Hawaii. P. 518–522.
  22. *Спичкин В.А.* Определение критерия крупной аномалии // Труды Арктического и антарктического НИИ. 1987. Т. 402. С. 15–20.
  23. *Минервин И.Г., Пищальник В.М.* Особенности развития ледовых процессов в Охотском море в зимнем сезоне 2013–2014 гг. // Учёные записки Сахалинского государственного университета. Вып. XI, XII. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2015. С. 16–25.
  24. *Пищальник В.М., Иванов В.В., Трусков П.А.* Прогноз вариаций площади ледяного покрова Охотского моря методом последовательных спектров // Известия ТИНРО. 2011. Т. 165. С. 130–143.
  25. *Думанская И.О.* Ледовые условия морей европейской части России. М.; Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2014.
  26. *Батухтина А.С.* Сравнительный анализ методов типизации зим Охотского моря и Татарского пролива по данным спутниковых наблюдений с 1971 по 2013 г. // Учёные записки Сахалинского государственного университета. Вып. XI, XII. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2015. С. 29–34.
  27. *Шатилина Т.А., Цицаишвили Г.Ш., Муктинавел Л.С. и др.* Статистические оценки трендов климатических изменений над Дальним Востоком в зимний и летний периоды 1980–2012 гг. // Вопросы промысловой океанологии. 2014. № 1. С. 76–97.

## ЭВОЛЮЦИОННАЯ ОБЩНОСТЬ НЕЖИВОЙ ПРИРОДЫ И ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

© 2017 г. М.В. Крылов

*Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия*

e-mail: mkrylov2014@yandex.ru

Поступила в редакцию 11.04.2016 г.

Объединение знаний и научных дисциплин – ведущая тенденция в формировании современного представления о живой и неживой материи, а также их эволюции, рассматриваемой как формирование иерархической системы, где последующие формы определяются предшествующими. Такой подход к пониманию эволюции предполагает единство материи, основанное на общности концептуальных законов физики и химии для живой и неживой материи. Подобное универсалистское понимание вещества и его развития, по мнению автора статьи, открывает возможность фундаментального обобщения эволюционных процессов, что позволяет выделять общие черты и свойства абсолютно, казалось бы, не связанных между собой явлений, процессов и особенностей поведения сложных систем и даёт надежду на получение целостного объяснения эволюции.

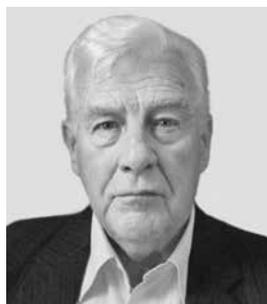
**Ключевые слова:** Большой взрыв, галактики, космическое расширение, неравновесность, самоорганизация, “тёмная энергия”, “тёмное вещество”, эллиптическая орбита.

DOI: 10.7868/S0869587317050036

В 1922 г. в Петрограде была опубликована работа “О кривизне пространства”. Её автор – русский физик и математик А.А. Фридман – выдвинул неожиданную гипотезу: Вселенная нестационарна, как целостный объект, она расширяется и сжимается, пространство искривляется, замыкаясь само на себя. Заслуга Фридмана в том, что он не только предложил эту гипотезу, но и рассчитал возможные пути эволюции Вселенной. Принципиально новые идеи А.А. Фридмана получили всеобщее признание лишь после открытия американским астрономом Э.П. Хабблом в 1929 г. космологического расширения: галактики и их скопления разбегаются со скоростью, пропорциональной их расстоянию от

Земли. Это явление справедливо назвали законом Хаббла.

В 1940–1950-е годы бывшим студентом А.А. Фридмана советским и американским физиком Г.А. Гамовым была описана картина горячего начала Вселенной (по его словам, он заимствовал эту идею у своего учителя). По Гамову, рождение Вселенной произошло из сингулярности – состояния, при котором время останавливается, а пространство сжимается в точку. Рождению пространства–времени способствовал Вселенский взрыв (позднее получивший название “Большой взрыв”), происшедший одновременно повсюду в мире и заполнивший пространство горячим излучением и веществом, из которого через миллиарды лет образовались все космические тела и всё, что есть на них, включая живые организмы. (Замечу, что теория Большого взрыва поставила перед космологами ряд вопросов, на которые пока нет ответа, в частности, что было до Большого взрыва и что взорвалось.) Плотность вещества и температура в момент Большого взрыва достигали планковских значений  $5 \cdot 10^{93}$  г/см<sup>3</sup> и  $1.3 \cdot 10^{32}$  К соответственно. С этого момента Вселенная непрерывно расширяется, температура вещества понижается, а объём растёт. Через  $10^{-42}$  с после взрыва началась инфляционная стадия, характеризующаяся предельно сильным отрицательным



КРЫЛОВ Мстислав Владимирович – доктор биологических наук, главный научный сотрудник ЗИН РАН.

давлением, когда силы “натяжения” препятствуют растяжению вещества и оно служит источником сил отталкивания, а не обычного гравитационного притяжения. Затем через ничтожный миг времени ( $10^{-36}$  с) из-за неустойчивости вещества с отрицательным давлением эта фаза развития Вселенной закончилась и родилась обычная материя. Однако в таких условиях не могли существовать не только молекулы или атомы, но и атомные ядра. “Разрешённым” оказалось существование лишь некоторой смеси разных элементарных частиц, включая фотоны и нейтрино. Поскольку расширение Вселенной, особенно вначале, шло с большой скоростью, высокая плотность и температура могли существовать только очень короткое время.

Последовательность дальнейших превращений примерно такова. Барионный избыток появился через  $10^{-35}$  с при температуре  $10^{29}$  К; электрослабый фазовый переход произошёл через  $10^{-10}$  с при температуре  $\sim 10^{17} - 10^{16}$  К. При этом электронно-кварковый бульон существовал всего  $10^{-25} - 10^{-15}$  с, а уже через  $10^{-4}$  с после Большого взрыва завершился процесс удержания кварков в будущих атомных ядрах. Ко времени  $\sim 0.01$  с во Вселенной было “разрешено” существование фотонов, электронов, позитронов, нейтрино и антинейтрино и небольшого числа нуклонов. Процесс нуклеосинтеза начался при 1 млрд. градусов. В результате последующих превращений (за время  $\sim 1 - 200$  с) произошёл первичный нуклеосинтез с получением смеси лёгких ядер (по-видимому, две трети водорода и одна треть гелия). Остальные химические элементы сформировались из них намного позднее, через много миллионов лет в недрах сверхновых звёзд.

Не касаясь более детально этого бурного периода эволюции Вселенной, включая важнейший процесс превращения излучения в вещество, заметим, что расширение Вселенной сопровождается её непрерывным усложнением. Сначала она расширялась однородно, а позднее появились неустойчивости и, как следствие, отдельные сгустки материи. Скорость движения вещества вначале была огромной, постепенно она уменьшилась, формировались мощные гравитационные силы. Из “фрагментов” вещества образовались протогалактики, а на их основе — первые звёзды, а затем и крупномасштабные структуры Вселенной: звёздные системы — галактики и их скопления [1–5].

В зависимости от условий вещество во Вселенной может существовать в нескольких агрегатных состояниях: сверхплотная кварк-глюонная плазма, плазма, газы, жидкости и твёрдые тела. А в 1933 г. швейцарский астроном Ф. Цвикки обнаружил по гравитационному эффекту “тёмное вещество”, которое не взаимодействует с электромагнитным излучением, содержится в группах галактик и их сверхскоплениях.

Физическая его природа до сих пор неизвестна. В нашей галактике тёмного вещества предположительно в 10 раз больше, чем светящегося. В конце XX в. две группы астрономов открыли “вакуум”, создающий космическое антитяготение, именно оно, согласно гипотезе, управляет динамикой космологического расширения в современную эпоху. Этот вакуум не излучает света, поэтому действующую в нём энергию назвали “тёмной” [4].

Если эволюцию материи представить как формирование иерархической системы, где свойства последующей формы определяются предшествующими, а процессы развития осуществляются по одним и тем же законам физики и химии, появляется возможность рассматривать континуум эволюции живого и неживого. Всё обычное вещество состоит из частиц первого поколения (“верхний” и “нижний” кварки, электрон и электронное нейтрино). Два “верхних” кварка и один “нижний” формируют протон, два “нижних” и один “верхний” кварки — нейтрон. Каждый атом состоит из тяжёлого ядра (сильно связанных протонов и нейтронов), окружённого облаком электронов. Различные количественные сочетания протонов, нейтронов и электронов сопровождаются качественными изменениями, что ведёт к формированию различающихся по своему составу атомов. Последующая форма организации материи — химический элемент: совокупность атомов с одинаковым зарядом ядер и одинаковым числом электронов в ядерной оболочке. Химические элементы вступают в реакции друг с другом, образуя молекулы.

В эволюционном ряду “элементарные частицы — атомы”, “химические элементы — молекулы” значительно возрастает число форм и возможных состояний материи. Образование молекул из атомов, так же, как и атомов из элементарных частиц, происходит под влиянием сил взаимодействия и только при определённых условиях, “разрешающих” процесс, детерминированный природой этих форм. Например, условия, при которых возможен синтез ядер гелия из водорода — протонно-протонный цикл ядерных реакций, реализуются в настоящее время в центральной части Солнца, где температура достигает  $10 - 13$  млн. К. Другой цикл — азотно-углеродный — требует температур порядка 20 млн. К. В зависимости от давления и температуры одни и те же химические элементы могут находиться в различных агрегатных состояниях. Так, азот в обычных условиях — газ, при  $-147^\circ\text{C}$  — жидкость; кислород в обычных условиях — газ, при  $-182.9^\circ\text{C}$  — жидкость, при  $-218.7^\circ\text{C}$  образует кристаллы. Таким образом, появление новых форм и состояний материи определяется её спонтанной способностью к самоорганизации и условиями, “разрешающими” процессы эволюции, которые, конечно, зависят от начальных условий.

По одной из наиболее обоснованных гипотез, Солнце и все тела Солнечной системы образовались из облака вращающегося газа с находившимися в нём осколками сверхновых звёзд. Все они построены из небольшого числа элементов, имеют единое происхождение и единый возраст. Формирование планет Солнечной системы можно рассматривать в качестве начальных условий формирования Земли. Именно эти факторы определили наличие на Земле более 20 химических элементов, пригодных для построения биомолекул, а также массу, плотность и орбиту вращения нашей планеты вокруг Солнца. Эти особенности, “разрешившие” появление жизни, отличают Землю от других планет, начальные условия на которых для этого неблагоприятны. Возраст Земли достоверно определён уран-свинцовым методом. Скорость распада радиоактивного изотопа какого-либо элемента для него строго постоянна и не зависит от изменения окружающей среды. Период полураспада урана ( $^{238}\text{U}$ ) составляет 4.5 млрд. лет. Чем старше порода, тем меньше в ней урана и больше свинца. Установлено, что в любой порции  $^{238}\text{U}$  половина атомов превратилась в свинец. Возраст метеоритов, определённый этим методом, составляет 4.5–4.6 млрд. лет, а возраст лунных пород, собранных советскими автоматическими станциями и американскими экспедициями, также колеблется в близких пределах – 4–4.5 млрд. лет. Эти факты свидетельствуют о том, что возраст Земли и всех тел Солнечной системы составляет около 4.6 млрд. лет.

Эволюция Земли как планеты и эволюция живого на ней взаимосвязаны и взаимозависимы. На ранней Земле органические соединения возникали из неорганических компонентов за счёт энергии ультрафиолетовых лучей, электрических разрядов и тепловой энергии. Этот ранний период, длившийся около 1 млрд. лет, принято называть периодом химической эволюции. Существовавшие тогда условия “разрешали” прохождение абиотического синтеза аминокислот, жирных кислот, пуринов, пиримидинов, углеводов и сахаров – соединений, обнаруживаемых в древнейших горных и осадочных породах.

В экспериментах, имитирующих условия на ранней Земле, из неорганических предшественников было получено несколько сот органических соединений, встречающихся в живых организмах. В их числе все аминокислоты, азотистые основания (аденин, гуанин, цитозин, урацил и тимин), многочисленные органические кислоты и сахара, встречающиеся в биологических системах. В экспериментальных условиях путём безматричного синтеза получены полипептидные цепи, подобные которым обнаружены в метеоритном веществе. Абиогенный синтез рибонуклеотидов и их ковалентное объединение в олигомеры и полимеры могли происходить в тех же условиях, при которых формируются полипептиды.

Было показано, что некоторые полирибонуклеотиды в обычной водной среде способны к спонтанной рекомбинации [6], которая определяет их структурное многообразие, в свою очередь ведущее к появлению среди них каталитически активных молекул РНК. Формирование биологически активных молекул без генетического контроля невозможно объяснить чисто случайными событиями.

К наиболее обоснованной гипотезе происхождения клеток из органических молекул, синтезированных абиогенным путём, можно отнести белково-коацерватную гипотезу академика А.И. Опарина [7], базирующуюся на возможности в условиях ранней Земли спонтанного синтеза полипептидов, которые объединялись в коацерватные капли, и гипотезу о первичной роли рибонуклеиновых кислот в формировании жизни. Серьёзное научное обоснование этой гипотезы принадлежит академику А.С. Спирину [8]. В качестве предшественника современной жизни предлагается РНК, ДНК рассматривается как более позднее эволюционное приобретение. РНК обладает необыкновенной многофункциональностью – способностью к генетической репликации и узнаванию, кодирующей, структурообразующей, каталитической функциями. Современные данные свидетельствуют о способности РНК-содержащих вирусов к самовоспроизведению. Таким образом, вполне возможно, что основные типы биологических молекул представляют собой неизбежный продукт химической эволюции не только на Земле, но и в любом месте Вселенной, где имеются “разрешающие” условия.

Эти данные позволяют предположить, что среди органических молекул, присутствовавших на ранней Земле, были и послужившие строительными блоками для живых систем. Для их функционирования требуются определённые энантиомеры (зеркально-симметричные формы) органических молекул. Все аминокислоты, входящие в состав белков, обнаруживают оптическую активность (за исключением глицина), ею обладают соединения, в которые входит асимметрический атом углерода. Число возможных стереоизомеров равно  $2n$ , где  $n$  – число асимметрических атомов углерода. Глицин не имеет асимметрического атома углерода, треонин и изолейцин содержат по два асимметрических атома, а все остальные аминокислоты, встречающиеся в белках, по одному. При построении белков в живых системах используются только L-стереоизомеры аминокислот<sup>1</sup>, а при построении РНК – только D-рибоза. Ни один белок не мог бы

<sup>1</sup> В некоторых организмах встречаются различные аминокислоты в D-форме, играющие, по-видимому, защитную роль. Например, аминокислоты D входят в структуру пептидных антибиотиков – грамицидина и актиномицина D, а также в клеточные стенки некоторых бактерий.

обладать каталитическими свойствами, если бы он состоял из L- и D-аминокислот, а РНК не была бы пространственно упорядоченной цепью оснований, если бы в неё входили как L-, так и D-стереоизомеры рибозы. Почему в биополимеры входят только L-аминокислоты или только D-сахара? Было высказано предположение о случайном выборе одного варианта. Из этого предположения следует, что все живые организмы происходят от одной клетки. Между тем известно, что у некоторых энантиомеров различаются точки плавления и растворимость. Энантиомеры некоторых душистых веществ обладают совершенно разными запахом и вкусом. Несовременные грибы из рода *Penicillium* используют в качестве пищи только правовращающийся изомер виноградной кислоты и левовращающийся изомер молочной кислоты, изомеры которой, кстати, чётко различаются на вкус. По-видимому, оптические изомеры биологических систем обладают какими-то предпочтительными свойствами. Из этого следует, что универсальные для всех биосистем метаболические превращения могут осуществляться единственно пригодными молекулами. Общность трофических связей в экосистемах требует общности стереохимических конфигураций органических соединений продуктов метаболизма.

Все органические биомолекулы происходят из простых низкомолекулярных предшественников: двуокиси углерода, воды и атмосферного азота. Эти предшественники превращаются при “разрешающих” условиях в биомолекулы большего молекулярного веса и в дальнейшем играют роль строительных блоков. Блоки связываются между собой, образуя макромолекулы, например, аминокислоты, которые, в свою очередь, служат строительным материалом для белков. Мононуклеотиды служат строительными блоками для нуклеиновых кислот, моносахариды – для полисахаридов, а жирные кислоты – для липидов. На следующем этапе эволюции макромолекулы, относящиеся к различным группам, объединяются друг с другом, образуя надмолекулярные комплексы, например, липопротеиды или рибосомы – комплекс нуклеиновых кислот и белков. На высшем уровне организации различные надмолекулярные комплексы объединяются в органеллы, и, наконец, объединение органелл даёт начало клеткам. Такова гипотетическая схема абиогенного появления живой материи, в которой рассматривается происхождение не целого организма, а его частей. Редукционный подход не может дать удовлетворительного объяснения функционирования сложной системы. Благодаря работам И. Пригожина по термодинамике неравновесных систем наука значительно продвинулась в понимании процессов, способствующих возникновению жизни [9]. Расширяющейся Вселенной свойственны неравновесность и связанная с ней

необратимость, что способствует неравновесности и необратимости многочисленных процессов в природе, включая жизнь. Неравновесность и необратимость могут быть источниками порядка, когерентности и повышения уровня организации.

К настоящему времени накопилось много данных о самоорганизующихся неравновесных системах<sup>2</sup> различных уровней сложности, начиная от самоорганизации в неорганических химических системах, где участвующие молекулы просты<sup>3</sup>, до морфогенеза сложных живых систем. Процессы самоорганизации наблюдаются вдали от равновесия [12], например, образование причудливых по форме и структуре облаков и специфические структуры вихрей, торнадо, циклонов, а также узоров, которые рисует мороз на стекле. Процессы самоорганизации сопровождают формирование новых фаз вещества при плавлении и кристаллизации. Очень характерны в этом отношении и специфические структуры, возникающие на поверхности различных материалов под воздействием интенсивного лазерного излучения [13]. К процессам самоорганизации относится возникновение химических часов – реакций с когерентным периодическим изменением концентрации реагентов. В химических часах все молекулы изменяют своё химическое тождество одновременно, через правильные промежутки времени, в этом случае уместно говорить о “коммуникации” между молекулами. Такого типа связь широко распространена в живых системах. Существенную роль в отборе механизма самоорганизации могут играть гравитационное и электромагнитное поля Земли.

Известно, что во Вселенной некоторые простые фундаментальные симметрии нарушены. Так, раковины у моллюсков преимущественно закручены в одну сторону. Молекула ДНК имеет винтовую форму, закрученную влево. Как возникает такая дисимметрия? Один из распространённых ответов – вследствие единичного, случайного события, после того как выбор сделан, вступают в действие автокаталитические процессы. Но случайность – следствие нашей неосведомлённости, причём не только в смысле незнания природы событий, а и из-за недостаточности сведений или ограниченности возможностей предсказания событий. Поэтому объяснение причин возникновения тех или иных конформаций материи случайными событиями вряд ли уместно, необходимы более весомые аргументы. И они появились. В их числе, например,

<sup>2</sup> К самоорганизующимся системам относятся системы, способные корректировать своё поведение на основе предшествующего опыта [10, 11].

<sup>3</sup> Например, в реакции Белоусова–Жаботинского (окисление малоновой кислоты броматом калия, катализируемое солями церия).

такие, как открытие принципиально новых свойств, приобретаемых системами в сильнонеравновесных условиях, при которых вещество обретает способность “воспринимать” различия, не осязаемые в условиях равновесных (этим неравновесные системы резко отличаются от равновесных, где формирование новой структуры требует мощных возмущений или изменения граничных условий). Системы в сильнонеравновесных условиях начинают “воспринимать” даже слабые гравитационные поля, в результате чего появляется возможность отбора конформаций. Чувствительность сильнонеравновесных состояний к внешним флуктуациям может служить началом спонтанной адаптивной организации системы, её подстройки к окружающей среде [9]. Такое объяснение позволяет понять, как могут возникать сложные структуры, способные стать предшественниками живого.

При “разрешающих” условиях олигомерные белки, например гемоглобин и аллостерические ферменты, обнаруживают способность к самосборке. При этом выявляется высокая специфичность взаимодействующих субъединиц. Так, гемоглобин и альдолаза в смеси сохраняют свою молекулярную “индивидуальность”. Даже смесь нативных гемоглобинов, выделенных из двух видов млекопитающих, не образует гибридных молекул. Информация о структурной организации полипептидов содержится в аминокислотной последовательности и может сохраняться даже при денатурации. Изменение условий, например, подкисление раствора альдолазы, приводит к её диссоциации на неактивные субъединицы. Если затем постепенно довести pH раствора до 7.0, субъединицы самопроизвольно восстанавливают свою нативную конформацию.

Самоорганизация распространяется и на системы более высокого порядка. Так формируются мультиферментные комплексы, происходит самосборка мембранных структур, рибосом, вируса табачной мозаики. При изучении морфогенеза бактериофага T4 удалось наблюдать процессы формирования сложной трёхмерной структуры на основе “одномерной” информации, содержащейся в аминокислотных последовательностях белковых субъединиц [14]. Самоорганизация морфогенеза более сложных структур контролируется специальными морфогенами [15].

В состояниях, далёких от равновесия, происходят и другие спонтанные перераспределения материи. В неравновесных системах универсальный способ передачи энергии от одной химической реакции к другой осуществляется путём сопряжения этих реакций через общий промежуточный продукт. Именно таким образом происходит перенос энергии почти во всех обменных реакциях в живых

клетках. “Разрешающее” условие процесса самоорганизации – наличие каталитических эффектов. Ускорение или замедление химических реакций может осуществляться одним из её продуктов. Такие процессы называют автокаталитическими и автоингибирующими. Именно они составляют основу жизни. Изучение автокаталитических процессов позволяет подойти к пониманию механизмов перехода от небольших полимеров к сложным организмам. Кросс-катализ (каждое из двух веществ, принадлежащих различным цепям реакции, катализирует синтез другого) лежит в основе механизма согласованных метаболических функций в клетке. Примером может служить взаимосвязь между нуклеиновыми кислотами и протеинами. Нуклеиновые кислоты содержат информацию, необходимую для синтеза протеинов, а они, в свою очередь, синтезируют нуклеиновые кислоты.

Живая клетка – открытая неравновесная система, находящаяся в стационарном состоянии, при котором скорость “притока” вещества и энергии соответствует скорости “оттока”. Живые организмы так же, как и неживые, подчиняются законам термодинамики. Стационарному состоянию неравновесной системы (в условиях, препятствующих достижению равновесного состояния) соответствует минимальное производство энтропии [9]. Для живой материи характерно усложнение организации: синтез больших молекул, молекулярных комплексов, клеток и многоклеточных организмов – мощные антиэнтропийные факторы. Таким образом, живой организм – это открытая, неравновесная, находящаяся в стационарном состоянии система, для которой характерно стремление к упорядоченности, когерентности и усложнению. Следовательно, усложнение живых организмов в процессе эволюции определяется законами термодинамики неравновесных процессов [16]. Именно поэтому формирование жизни может рассматриваться как закономерное высшее проявление процессов самоорганизации материи, протекающих в неравновесных условиях с участием автокатализа. Обнаруженные учёными ископаемые формы жизни, существовавшие на Земле уже через 800 млн. лет после её образования, могут служить серьёзным аргументом в пользу идей о спонтанной самоорганизации живого в “разрешающих” условиях.

При необычайной сложности молекулярной организации живой материи сотни тысяч входящих в неё макромолекул построены из немногочисленных типов молекул простых – строительных блоков: 20 аминокислот и 4 основных мононуклеотидов. Простые биомолекулы, использующиеся как строительные блоки живой материи, идентичны у всех известных видов организмов. Все живые организмы имеют одинаковый генетический код. На основании этого часто делается кажущийся очевидным вывод о том, что все

живые организмы имеют общего предка. Но, может быть, наблюдаемые факты имеют другое объяснение? Если бы не было глубоких физиологических и химических причин для появления универсального генетического кода, следовало бы ожидать наличия каких-то иных кодов у неродственных, далеко отстоящих друг от друга в систематическом ряду организмов. Путь создания живого — единственный во Вселенной, так же как и путь построения протонов, нейтронов, атомов водорода, гелия, углерода, кислорода. Формирование жизни — естественный этап развития материи, поэтому появление жизни на Земле нельзя считать уникальным событием. В нашей Галактике содержится около  $10^{11}$  звезд, из которых почти каждая может иметь планетную систему, а следовательно, и планету, условия на которой близки к условиям на планете Земля. Из этого следует, что поиски внеземных форм жизни следует вести на космических телах с одинаковыми или близкими земным условиями.

На ранней Земле при температуре 5–8 тыс. градусов возникновение жизни было “запрещено”. По мере остывания планеты и проходивших на ней геохимических и биохимических процессов появились условия, при которых “разрешалось” формирование живого. В формации Исуа в Гренландии в осадочных породах найден углерод органического происхождения, возраст которого составляет 3.8 млрд. лет. В породах возраста 3.1 млрд. лет обнаружены остатки хлорофилла — фитан и пристан и пигмент цианобактерий — фикобилин. Палеонтологические находки в Южной Африке в сланцах серии Фиг-Три показали, что бактерии и фотосинтезирующие сине-зелёные водоросли существовали на Земле уже через 1–1.5 млрд. лет после её возникновения. На нашей планете в то время отсутствовал свободный кислород, о чём свидетельствует наличие в архейских отложениях быстроокисляющихся соединений урана и железа. В атмосфере преобладали углекислый газ и водород, что “разрешало” развитие метанобразующих бактерий. Таким образом, в этот период (800 млн. — 1.5 млрд. лет) должен быть уложен биопаз — возникновение живого из неживого и вся эволюция прокариот. Особенно важны для понимания эволюции живой материи находки в древнейших осадочных формациях Варравуна (Австралия) и Онвервахт (Южная Африка) (3.5–3.4 млрд. лет) строматолитов, представляющих собой результат жизнедеятельности прокариотного сообщества. Это указывает на одновременное появление в “разрешающих” условиях не одного организма, а целой экосистемы. Существование одного вида вне сообщества практически невозможно из-за накопления продуктов обмена. В сообществах различных организмов протекают процессы регенерации исходных веществ из продуктов обмена.

Появление первых эукариот на Земле датируется исследователями по-разному. Одноклеточные эукариотные водоросли, собирательное название

которых “акритархи”, судя по палеонтологическим находкам, существовали 1.9–2 млрд. лет назад. В одном из нефтяных месторождений возраста 1.7 млрд. лет были обнаружены стеролы — вещества, синтезируемые только клеточными ядрами. Появление аэробных фотоавтотрофов около 2 млрд. лет назад совпало с достижением содержания кислорода в атмосфере как минимум 1%. Для перехода от прокариотной к каритотной клетке потребовалось вдвое больше времени, чем для появления живого. Обнаружение бактериоморфных образований в метеоритах Солнечной системы [17, 18] и находка оптически активных изомеров аминокислот в Мурчисонском метеорите [19], несомненно, дают повод для дальнейшей разработки представлений о заносе жизни на Землю из космического пространства. Современные знания о выживаемости микроорганизмов в широком диапазоне температур, в частности, о сохранении жизнеспособности при консервации в жидком азоте и способности *Thermoacidobacteriobiontes* жить и размножаться при 70–108 °C [20], а также о высокой устойчивости к ионизирующей радиации (*Dinococcus radiodurens* выживает даже в ядерном реакторе, выдерживая дозу радиации, превышающую смертельную для человека в 3 тыс. раз), допускают идею о переносе живых организмов в космосе. Однако гипотеза панспермии не предлагает никакого механизма для объяснения первичного возникновения и развития жизни.

Первичными организмами могли быть хемолитотрофы, способные использовать в качестве доноров электронов молекулярный водород, серу и некоторые простые неорганические соединения, такие как сероводород и аммиак. Затем появились организмы, использующие анаэробный фотосинтез (серные пурпурные и зелёные бактерии) и, наконец, аэробный фотосинтез с выделением кислорода, который резко меняет окислительную обстановку на Земле и создаёт условия для формирования эукариот. Сложные эукариотные клетки, используя кислород, значительно увеличили производство энергии, что стало важным этапом в формировании многоклеточности, чему предшествовало появление кислорода в атмосфере Земли. (Отметим, что анаэробный организм не может быть слишком крупным из-за диффузных ограничений, так как объём клетки возрастает линейно пропорционально кубу, а поверхность, через которую осуществляется диффузия, — лишь квадрату.)

Накопление кислорода в атмосфере в результате фотосинтеза шло медленно, концентрация этого газа достигла 1% его содержания в современной атмосфере примерно 0.6–1 млрд. лет назад, а 10% — не ранее, чем 0.4 млрд. лет назад. Поэтому самые ранние находки ископаемых остатков

основных крупных таксонов современных животных сделаны в отложениях, возраст которых 540–570 млн. лет. Таким образом, на развитие аэробных сосудистых высших растений и позвоночных, которые могли сформироваться только после того, как в атмосфере появился кислород, потребовалось около 1 млрд. лет.

“Разрешающие” условия для существования живых организмов с новыми свойствами определяются двумя группами причин: изменениями, вызванными жизнедеятельностью самих организмов (биогенные факторы), и физико-химическими изменениями среды (абиогенные факторы). Этот процесс напоминает сукцессию. В сообществе разнородных организмов на первый план выходят кооперативные взаимоотношения, в которых определяющим фактором существования объекта оказывается его соответствие системе [21]. Таким образом, экосистема становится мощным двигателем развития, именно она предопределяет свойства объекта, входящего в неё. Соответствие системе – непереносимое условие существования индивидуума [22].

Но вернёмся к процессам, протекающим на глобальном уровне. Какое будущее ожидает Вселенную? Кратко представлю некоторые современные гипотезы.

Антитяготение космического вакуума направлено вдоль скорости, и оно разгоняет галактики, постоянно увеличивая их скорость. В такой модели влияние вакуума становится всё более безраздельным и ведёт к неограниченному расширению Вселенной. Эволюция мира затухает, а его пространственно-временной каркас остаётся замороженным навсегда [4]. В противовес этому пессимистическому сценарию предлагается и другой. Для оптимистического сценария постулируется нахождение Вселенной на эллиптической орбите, обращённой вокруг общего центра масс, как в двойной системе.

Если предположить, что Вселенная находится на эллиптической орбите в пределах сильного гравитационного поля общего центра масс, то становится возможным объяснить некоторые особенности феномена космического расширения. Скорость движения космического тела по эллиптической орбите возрастает по направлению к точке, ближайшей к общему центру масс, и убывает по направлению к точке, наиболее от него удалённой. В сильном гравитационном поле общего центра масс галактики либо разбегаются, либо сближаются в зависимости от того, в какой точке орбиты находится Вселенная по отношению к этому центру. Предположительно, Большой взрыв произошёл, когда Вселенная находилась в конце периода орбитального торможения: инерциальное расширение Вселенной замедлялось тяготением вещества

её самой и гравитационным полем общего центра масс. Этот закон справедлив не только для плоского, но и для искривлённого пространства и с весьма приличной точностью действует первые 6–8, а то и 10 млрд. лет жизни Вселенной [4].

Затем Вселенная приближается к общему центру масс и пребывает в зоне орбитального ускорения. Разбегание галактик в этот период сопровождается положительным ускорением, они удаляются друг от друга с возрастающими скоростями. Чем быстрее они разбегаются, тем меньшей становится плотность их распределения и тем слабее взаимогравитационное влияние. Начиная с расстояний 10–20 мегапарсек (Мпк –  $3.09 \cdot 10^{19}$  км) и далее почти до горизонта Вселенной расширение сохраняет свою кинематическую идентичность. Это означает, что динамикой галактик в этот период управляет главным образом не их самогравитация, а гравитационное поле общего центра масс. Для галактик, находящихся на расстоянии около 1 Мпк, ускорение не наблюдается, потому что они вращаются на орбите группой в одном гравитационном поле.

На сверхбольших расстояниях разбегающиеся галактики начинают движение по орбите, уносящей их от общего центра масс, ускорение меняет знак на отрицательный. В этот период разбегание галактик замедляется, а затем они начинают сближаться, гравитационное взаимодействие между ними усиливается. Плотность вещества и температура становятся неограниченно большими, и Вселенная переходит в сингулярное состояние, которое служит началом очередного расширения через Большой взрыв, и так без конца.

На эллиптической орбите первые галактики, вошедшие в зону орбитального разгона, будут удаляться от наблюдателя с нарастающей скоростью, точно так же и наблюдатель, вошедший раньше в зону орбитального разгона, будет удаляться по отношению к галактикам, вошедшим в зону позже него. И перед наблюдателем, и за ним галактики удаляются от него с одинаковой кинематикой. Эффект Доплера (смещение светового спектра в красную сторону) будет регистрироваться наблюдателем во всех случаях, когда расстояние между ним и галактиками увеличивается, что создаёт иллюзию радиального разбегания галактик. В реально существующей Вселенной галактики никогда не расходятся точно по прямой – обычно некоторые небольшие составляющие их скорости направлены под углом [3]. Поскольку галактики двигаются по эллиптической орбите, их путь будет искривлён, потому что направление движения определяется главным образом мощным гравитационным полем общего центра масс.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гут А.Г., Стейнхард П.Д. Раздувающаяся Вселенная // В мире науки. 1984. № 7. С. 56–68.
2. Novikov I.D. The Inflationary Model of the Early Universe // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2001. № 5. P. 493–501; Новиков И.Д. Инфляционная модель ранней Вселенной // Вестник РАН. 2001. № 10. С. 886–914.
3. Хокинг С.В. Краткая история времени от Большого взрыва до чёрных дыр / Пер. с англ. Н. Смородиной. СПб.: Амфора, 2001.
4. Черепашук А.М., Чернин А.Д. Вселенная, жизнь, чёрные дыры. Фрязино: Век-2, 2007.
5. Рубин С.Г. Устройство нашей Вселенной. Фрязино: Век-2, 2006.
6. Chetverina H.V., Demidenko P.A., Ugarov V.I., Chetverin A.B. Spontaneous rearrangements in RNA sequences // FEBS Letters. 1999. V. 450. P. 89–94.
7. Опарин А.И. Возникновение жизни на Земле. Изд. 3-е. М.: Изд-во АН СССР, 1957.
8. Spirin A.S. Protein Biosynthesis, the RNA World, and the Origin of Life // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2001. № 2. P. 146–153; Спири́н А.С. Биосинтез белков, мир РНК и происхождение жизни // Вестник РАН. 2001. № 4. С. 320–328.
9. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Прогресс, 1986.
10. Эйген М. Самоорганизация материи и эволюция биологических молекул. М.: Мир, 1973.
11. Эйген М., Шустер П. Гиперцикл. Принципы самоорганизации молекул. М.: Мир, 1982.
12. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. М.: Изд-во УРСС, 2003.
13. Bonch-Bruevich A., Libenson M. Laser-Induced Surface Polaritons and Optical Breakdown // Nonlinear Electromagnetic Surface Phenomena / Ed. by H. Ponath and G.I. Stegeman. B.V. North Holland, The Netherlands: Elsevier Science Publishers, 1991. P. 561–609.
14. Ленинджер А.Л. Биохимия. Молекулярные основы структуры и функции клетки / Пер. с англ. Я.М. Варшавского. Под ред. акад. А.А. Баева. М.: Мир, 1974.
15. Холланд П., Гарсия-Фернандес Х. Гены НОХ, эволюция, развитие и происхождение позвоночных // Онтогенез. 1996. № 4. С. 273–279.
16. Krylov M.V., Libenson M.N. Continuum of evolutionary processes of living and nonliving matter // Proc. Zool. Inst. Russ. Acad. Sci. 2002. V. 296. P. 71–78.
17. McKay D.S., Gibson E.K. Jr., Thomas-Keprta K.L. et al. Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH 84001 // Science. 1996. V. 223. P. 924–930.
18. Жмур С.И., Розанов А.Ю., Горленко В.М. Следы древнейшей жизни в космических телах Солнечной системы // Природа. 1997. № 8. С. 3–10.
19. Cronin J.R., Pizzarello S. Enantiomeric excesses in meteoritic amino acids // Science. 1997. V. 275. P. 951–955.
20. Кусакин О.Г., Дроздов А.Л. Филема органического мира. Ч. 2. СПб.: Наука, 1998.
21. Zavarzin G.A. The Non-Darwinian Domain of Evolution // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2000. № 3. P. 252–259; Заварзин Г.А. Недарвиновская область эволюции // Вестник РАН. 2000. № 5. С. 403–411.
22. Krylov M.V. The Principle of Systemic Correspondence in Evolutionary Processes // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2015. № 1. P. 73–78; Крылов М.В. Принцип системного соответствия в эволюционных процессах // Вестник РАН. 2014. № 11. С. 1024–1029.

## СОВРЕМЕННЫЕ ФОРМЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНТЕГРАЦИИ СКВОЗЬ ПРИЗМУ ЕВРАЗИЙСКОГО ПРАВА

© 2017 г. Р.А. Курбанов

*Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ (ИЗиСП),  
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия  
e-mail: mos-ssp@mail.ru*

Поступила в редакцию 11.04.2016 г.

Единая концепция евразийского права является основным инструментом, отражающим различные аспекты развития интеграционных процессов в Евразийском регионе. Автор излагает свою концепцию, разработанную в результате анализа доктринальных подходов, раскрывающих теоретико-правовые основы, генезис и особенности евразийского права как составной части международного права.

**Ключевые слова:** глобализация, регионализация, интеграция, еврорегионы, евроокруга, евразийское право.

DOI: 10.7868/S0869587317050048

В условиях перехода к мультиполярному измерению особое значение приобретают вопросы региональной интеграции. Наряду с термином “интеграция” часто используются понятия “глобализация” и “регионализация”, в связи с чем принципиальное значение имеет соотношение этих категорий. По мнению норвежского исследователя Б. Хеттне, интеграция наблюдается при наличии объективных факторов сплочения как в социальной сфере (этнический состав, религия, осознание общей истории), так и в экономической и политической областях (торговля, инвестиции, идеология) [1]. Интеграция осуществляется на региональном и универсальном уровнях. Во втором случае она может именоваться глобализацией.

Не все исследователи единодушны в том, что касается времени возникновения феномена регионализации. Одни считают, что вначале получили

распространение процессы глобализации, а регионализация вызвана распадом биполярного мира, другие – что регионализация прослеживается на протяжении всей истории человечества.

Интеграция является неотъемлемой частью как глобализации, так и регионализации. В условиях распада однополярного мира интеграционные процессы приобретают особое значение. С точки зрения укрепления и развития межгосударственных связей, сотрудничество государств наиболее эффективно именно на региональном, а не на глобальном уровне, именно благодаря регионализации может возникнуть многополярный мир.

Исторически государства использовали различные политические формы объединения и взаимодействия в целях достижения обоюдной безопасности, обороны, политической и экономической кооперации. В древнем мире существовала Римская империя. В Средние века были образованы Франкское государство, в период своего расцвета занимавшее большую часть Европы, Византийская империя и Арабский халифат. В Новое время региональные связи между государствами стали интенсивнее. Известны Кальмарская (1397–1523) и Иберийская (1580–1640) унии, Османская империя (1299–1922), конфедерации Соединённых Штатов Америки (1776–1777, 1788–1789), Швейцарский (1291–1848) и Германский (1815–1866) союзы. Не является исключением и Евразийский регион. Российская империя, Советский Союз, Совет экономической взаимопомощи (СЭВ) и Организация



КУРБАНОВ Рашад Афатович – доктор юридических наук, заведующий отделом научного обеспечения деятельности секретариата делегации Российской Федерации в Европейской комиссии за демократию через право (Венецианской комиссии), заведующий центром ИЗиСПа, заведующий кафедрой гражданского права и процесса РЭУ им. Г.В. Плеханова

Варшавского договора – только некоторые примеры. Новая волна активности региональных процессов на мировом уровне пришлась на вторую половину XX в. Кроме Европейского союза, получили развитие различные форматы взаимодействия стран в Азии, Африке, Северной и Латинской Америке.

В литературе эта всемирная тенденция обозначается как “новый регионализм”, когда государства-участники не ограничиваются формальными межгосударственными интеграционными объединениями, а осуществляют сотрудничество во всех сферах общественной жизни. При этом новый регионализм глобален и принимает разнообразные формы на разных континентах планеты.

Некоторые государства являются одновременно членами нескольких международных региональных организаций, отличных как по сферам деятельности, так и по целям создания, более того, представляют собой конкурирующих игроков на международной арене. Можно говорить о разноскоростной, разноуровневой, разноформатной, разносферной и разновекторной интеграции.

В 1960-х годах лауреат Нобелевской премии голландский учёный Я. Тинберген предложил разделять интеграцию на позитивную, при которой участники предусматривают переход к общим институтам, и негативную, при которой взаимодействие сторон ограничивается удалением дискриминационных норм из национальной экономической практики.

В 1990-х годах профессор Гарвардского университета Р. Лоуренс выделил поверхностную и углублённую интеграцию. Первая включает только либерализацию торговли, вторая – также упразднение тарифных и нетарифных ограничений. Что касается деления на глобальную, межрегиональную и региональную (субрегиональную) интеграцию, то в его основе лежит, во-первых, территориальный признак, а во-вторых, количество участников.

Мировая арена представлена большим количеством региональных и межгосударственных объединений, различных по своей сути. Говорить о единой глобальной интеграции пока не приходится. Международно-правовые связи образуются и на межрегиональном уровне, причём они могут включать участников, расположенных на разных континентах.

В региональных (субрегиональных) интеграционных объединениях, как правило, небольшое количество государств-участников по сравнению с международными организациями. Эти государства объединены общей географической и (или) социально сконструированной территориальной зоной, могут иметь общие доктрины и преследовать общие цели. Классическими примерами являются

Евросоюз, Латиноамериканская ассоциация интеграции, объединяющая 11 государств Латинской Америки, Ассоциация стран Юго-Восточной Азии (АСЕАН).

К субрегиональным интеграционным образованиям относится Североамериканская зона свободной торговли (НАФТА), образованная в январе 1994 г. США, Канадой и Мексикой. Это крупнейшая в мире региональная зона свободной торговли с населением 406 млн. человек и совокупным валовым продуктом 10.3 трлн. долл. в год.

Различают также интеграцию на уровне государств (институциональная) и предприятий (частнокорпоративная). В первом случае имеется в виду взаимопроникновение национальных процессов, в результате которого происходит сближение социальных, политических, правовых, экономических и иных структур интегрирующихся государств; во втором – объединяются капиталы и активы компаний. В отличие от Европы, для которой характерны интеграционные процессы на институциональном уровне, в Северной Америке они развиваются главным образом на частнокорпоративной основе.

Рассматривая формы интеграции, нельзя обойти вниманием еврорегионы. Речь идёт о европейской форме международной интеграции, когда взаимодействуют два или несколько территориальных образований соседствующих стран Европы, расположенных в приграничных районах и обладающих всеми целостнообразующими признаками. В таких регионах территориальные образования приграничных европейских стран создают самостоятельные структуры, в рамках которых они напрямую сотрудничают в определённых сферах общественной жизни посредством реализации различных проектов. Первый еврорегион, образованный на границе Германии и Нидерландов в 1958 г., получил наименование EUREGIO. Со временем на территории Европы эта форма получила широкое распространение. Наиболее известные – Адриатика, который был образован в 2006 г. и включает ряд территорий Албании, Боснии и Герцеговины, Хорватии, Италии, Черногории и Словении; Баварский лес – Богемский лес/Шумава, созданный в 1994 г. и объединяющий регионы Германии, Австрии и Чехии; Эльба-Лаба, созданный в 1992 г. на приграничных территориях Чехии и Германии [2]. Активное участие в подобной интеграции принимает ряд российских регионов. Так, созданный в 1997 г. еврорегион Неман объединяет отдельные районы Республики Беларусь, Польши, Литвы и России.

Разновидностью еврорегионов считается евроокруг. По сути, это городская агломерация, занимающая приграничную территорию двух или нескольких соседствующих стран. Её членами

являются приграничные города (коммуны). Среди первых примеров – округ Страсбург–Ортену (объединяет французский Страсбург и немецкие Кёльн и Оффенбург), который представляет собой франко-германскую совместную территорию “по обе стороны Рейна, объединённую, чтобы убрать границу, сломать административные барьеры и облегчить повседневную жизнь” (<http://www.eurodistrict.eu/>). Одно из приоритетных направлений сотрудничества муниципальных образований в рамках евроокругов – сфера транспортной коммуникации.

Отдельно следует упомянуть о региональных речных организациях (их также именуют “организации водных (речных) бассейнов”), которых сегодня в мире насчитывается более 100. Они играют существенную роль в развитии интеграционных процессов, управлении водными ресурсами и укреплении социальных и экономических связей между прибрежными государствами. Большое число речных организаций было учреждено в середине прошлого века. Основанную в 1815 г. Центральную комиссию судоходства по Рейну считают одним из первых региональных интеграционных образований в Европе. Её основная задача заключалась в обеспечении безвозмездной навигации на реке Рейн.

\* \* \*

На наш взгляд, классифицировать формы интеграции наиболее целесообразно в зависимости от сфер интеграционных процессов. Так, можно выделить экономическую, социальную и военно-политическую интеграцию. Региональные объединения, как правило, имеют какое-то приоритетное направление совместной деятельности, которая сопровождается интеграцией в иных областях. В частности, формирование общего рынка, связанного со свободой передвижения рабочей силы, требует соответствующих социальных изменений – формирования миграционного пространства, решения вопросов социального обеспечения, здравоохранения и т.д., а развитие военно-политического сотрудничества – усиления кооперации в информационной области. Достижение основной цели интеграционных процессов – обеспечение прав и повышение благосостояния граждан – возможно только в результате совместных усилий стран в рамках одного регионального образования одновременно во всех сферах. Катализатором развития взаимодействия как в социальной, так и в военно-политической области является экономическое сотрудничество.

В соответствии с классической западно-европейской теорией многие авторы выделяют пять форм экономической интеграции: зона свободной торговли, таможенный союз, общий рынок, экономический и валютный союз, полная интеграция [3].

При этом одни исследователи отмечают, что преференциальная торговля предшествует свободной торговле, другие полагают, что после формирования экономического союза следуют стадии валютного (монетарного) и политического союзов. Особенности экономических процессов в различных регионах диктуют необходимость создания собственных моделей региональной интеграции, соответствующих историческим реалиям, длительности сотрудничества и его активности, уровню экономического развития и экономической стабильности стран-участников региональных объединений, территориально-географическим и иным условиям.

Рассмотрим основные стадии экономической интеграции. Прежде всего речь идёт о сотрудничестве в экономической сфере, которое выражается в установлении прямых институциональных связей взаимодействующих государств на региональном уровне, развитии на взаимовыгодных условиях взаимодействия в отдельных или во всех областях экономики. Учредительные документы большинства региональных организаций (Содружество Независимых Государств, Организация американских государств, Африканский союз и т.д.) в качестве начальной стадии называют обеспечение и *расширение экономического сотрудничества*.

Следующая стадия – образование *зоны преференциальной торговли* (ЗПТ). Как правило, преференциальные торговые соглашения заключаются на двух- и многосторонней основе между отдельными государствами (по данным ВТО, зарегистрировано 15 подобных соглашений). Однако ЗПТ может устанавливаться не только посредством заключения соглашений, но и в рамках различных региональных объединений, более того, между уже действующей региональной группировкой и отдельным государством или группой стран одного региона.

Зона преференциальной торговли предоставляет более благоприятный (льготный) режим в торговых отношениях между её участниками по сравнению с третьими странами. Договаривающиеся стороны уменьшают взаимные тарифы по импорту товаров, сохраняя национальные тарифы в отношении иных государств. Для данной стадии характерно отсутствие единого механизма налогообложения. Кроме того, реализация таких соглашений не требует создания каких-либо институциональных органов.

Наиболее распространённой формой экономической интеграции является *зона свободной торговли* (ЗСТ), при которой отменяются таможенные пошлины, налоги и сборы, а также количественные ограничения во взаимной торговле. Государства сохраняют за собой право определять внешнеторговую политику в отношении третьих стран. Рассматривая ЗСТ на евразийском пространстве, исследователи в первую очередь называют Договор

о зоне свободной торговли, подписанный странами СНГ в 2011 г. В Америке действует Североамериканская зона свободной торговли НАФТА – соглашение между США, Канадой и Мексикой, вступившее в силу в 1994 г., в Европе, помимо Европейского союза – Европейская ассоциация свободной торговли, созданная в 1960 г. (сегодня её членами являются Исландия, Норвегия, Швейцария и Лихтенштейн), и Центральноевропейское соглашение о свободной торговле ЦЕФТА (Македония, Албания, Босния и Герцеговина, Молдавия, Черногория, Сербия и Республика Косово), которое вступило в силу в 1993 г. По данным ВТО, на 2014 г. зарегистрировано более трёх соглашений о ЗСТ, заключённых между Европейским союзом и отдельными странами, региональными организациями либо одним отдельным регионом.

*Таможенный союз* (ТС) – следующая стадия экономической интеграции, в рамках которой стороны образуют единую таможенную территорию, где не применяются таможенные пошлины и ограничения экономического характера за исключением специальных, защитных, антидемпинговых и компенсационных мер, осуществляется единая таможенная политика.

Соглашение о создании ТС предусматривает ликвидацию внутренних таможенных постов между странами – членами союза и установление единого таможенного контроля по границе объединённой территории всех стран. Учитывая более высокий уровень экономической интеграции, учреждается специальный орган. По данным ВТО, в мире зарегистрировано 25 ТС, семь из которых связаны с расширением Европейского союза. Кроме того, действуют соглашения о ТС, заключённые Европейским союзом с Андоррой, Турцией и Сан-Марино. Старейшим в мире является Южноафриканский таможенный союз (в него входят ЮАР, Ботсвана, Лесото, Намибия и Свазиленд), договор о создании которого был подписан в 1910 г. На евразийском пространстве успешно действует ТС между Россией, Беларусью, Казахстаном, Арменией и Киргизией.

Одна из стадий экономической интеграции – *единое экономическое пространство* (ЕЭП). На этом пространстве функционируют однотипные механизмы регулирования экономики, основанные на рыночных принципах и применении гармонизированных правовых норм, существует единая инфраструктура и проводится согласованная налоговая, денежно-кредитная, валютно-финансовая, торговая и таможенная политика, что обеспечивает свободное движение товаров, услуг, капитала и рабочей силы.

В 1991 г. с целью создания общего рынка между Европейским экономическим сообществом

и Европейской ассоциацией свободной торговли было подписано Соглашение о Европейском экономическом пространстве. Успешным примером ЕЭП на евразийском континенте является общий рынок, образованный Россией, Беларусью и Казахстаном в 2012 г.

Создание *экономического союза* (ЭС) как следующей стадии экономической интеграции предполагает осуществление единой экономической и социальной политики в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, в энергетике и иных областях. Одновременно возможно установление *валютного союза*, что предусматривает введение единой валюты для стран регионального объединения с единым эмиссионным центром и общую денежно-кредитную политику.

На евразийском пространстве с 2015 г. действует Евразийский экономический союз (ЕАЭС). Вначале договор о его создании подписали Россия, Беларусь и Казахстан, а затем к ним присоединились Армения и Киргизия. Цель союза заключается в укреплении экономики стран-участниц и сближении друг с другом для модернизации и повышения конкурентоспособности на мировом рынке.

Одним из направлений экономической интеграции является *взаимодействие государств в финансовой сфере*, где также можно выделить несколько стадий. Изучение документов многих региональных организаций позволило в качестве первой стадии назвать сотрудничество в финансовой сфере, в ходе которого стороны декларируют намеренность на взаимовыгодных началах развивать отдельные (или все) составляющие этой сферы (налоговую, бюджетную, валютную, банковскую и т.д.).

Вторым этапом объединения государств в финансовой сфере, отличающимся более глубокими интеграционными связями, является создание клиринговых союзов, действующих на основе многосторонних клиринговых соглашений, которые регулируют совместные операции путём взаимного зачёта требований. Такая система снижает бремя финансовой нагрузки на государства посредством экономии официальных валютных резервов.

Начиная со второй половины прошлого века в рамках региональных объединений наблюдался рост числа заключённых многосторонних клиринговых соглашений и клиринговых союзов. В 1975 г. рядом стран Азиатско-Тихоокеанского региона был образован Азиатский клиринговый союз, одна из целей которого – уменьшение зависимости от иностранной валюты, в первую очередь доллара США и фунта стерлингов. С 1977 г. государства Карибского общего рынка (КАРИКОМ) стали проводить взаиморасчёты посредством клиринговой системы в национальных валютах через Центральный банк Тринидада и Тобаго.

Многосторонняя клиринговая система взаиморасчётов осуществляется с 1976 г. между участниками Экономического сообщества государств Западной Африки (ЭКОВАС), где действует многосторонний клиринг в составе центральных банков ряда стран Африки. Практически все расчёты проводятся через Западно-африканскую клиринговую палату [4].

Многосторонний клиринг в некоторой степени препятствует дальнейшему развитию экспорта стран, поскольку в случае появления у одной из них дополнительных экспортных возможностей она непременно столкнётся с трудностями в их реализации, экспорт каждого участника ограничен размерами импорта иных участников клиринга. Этот недостаток позволяет устранить следующая стадия финансовой интеграции – платёжный союз, в рамках которого государства обеспечивают взаимную конвертируемость национальных валют и взаимное кредитование в целях покрытия дефицита платёжного баланса. В качестве примера данной формы интеграции можно привести Европейский платёжный союз, действовавший с 1950 по 1958 г. и объединявший 17 европейских государств.

Ещё одна стадия финансовой интеграции – создание банковского союза. В ЕС банковский союз включает три основных блока: систему банковского надзора; систему ликвидации и реструктуризации национальных банков, которым может грозить банкротство; межбанковский резервный фонд. Все банки стран зоны евро должны вносить взносы в общеевропейский фонд, средства которого в случае кризиса будут направлены на их докапитализацию. Образование банковского союза предшествует введению единой валюты и созданию валютного союза. Выделяют две формы валютной зоны. В первом случае её участники имеют равные права, поскольку она является результатом их совместных усилий; во втором – страны со слабой валютой, неразвитыми валютно-кредитными системами примыкают к государству с устойчивой на международной арене валютой, которое и определяет политику в валютной сфере.

Наряду с валютным союзом целесообразно создание фискального союза. На саммите ЕС в Брюсселе в 2011 г. для преодоления экономического кризиса было принято решение об образовании в ЕС фискального союза и представлен проект соответствующего соглашения, что в дальнейшем нашло отражение в “дорожной карте” экономического и валютного союзов, согласованной в декабре 2012 г. Цель союза – обеспечить устойчивость зоны евро посредством контроля за бюджетами входящих в неё государств, которые не могут в одностороннем порядке накапливать новые долги,

а расходы их правительств ограничены собственными доходами.

Наивысшей стадией финансовой интеграции и логическим продолжением создания валютного и фискального союза является финансовый союз.

Обратимся теперь к такой важной сфере взаимодействия государств в рамках большинства региональных организаций, как *социальная интеграция*. Представляет интерес мнение В.Д. Зорькина. Он выделяет два типа социальности, которым соответствуют две модели социальной интеграции – авторитарно-принудительная, ориентированная на подчинение индивида обществу и государству, и добровольная, основанная на своего рода общественном договоре членов гражданского общества, получающем закрепление в нормативно-правовой системе страны, прежде всего её конституции [5]. Модель добровольной интеграции вполне применима и к отношениям в рамках региональных образований.

Социальную интеграцию можно рассматривать также в качестве мягкой силы, что проявляется в расширении деятельности национальных научных и культурных центров, развитии научных и культурных связей, активизации работы с соотечественниками и с зарубежной молодёжью, популяризации своих национальных ценностей в мире. В учредительных документах большинства региональных объединений указывается, что основная цель взаимодействия их членов в социальной сфере состоит в установлении и развитии сотрудничества, направленного на социальное и культурное развитие региона.

На начальной стадии социальной интеграции налаживаются прямые связи, в том числе корпоративные и институциональные, между государствами, происходит обмен положительным опытом, осуществляется единая политика на национальном уровне посредством разработки и реализации общих программ.

Следующий этап в социальной интеграции стран в регионе – установление равных прав граждан путём создания единого социального пространства в различных областях общественной жизни. Более прогрессивная стадия социальной интеграции – создание так называемого паспортного союза, обеспечивающего беспрепятственное перемещение граждан либо без оформления проездных документов, либо по введённому специальному паспорту единого образца.

Наконец, высшая стадия социальной интеграции – социальный союз. Он предусматривает единое гражданство, что подразумевает равные права и обязанности на всей территории регионального объединения во всех областях социальной сферы.

Что касается *военно-политической интеграции*, то она предполагает делегирование полномочий по вопросам войны и мира на наднациональный уровень, выработку общих принципов поведения на международной арене в поисках союзников в оборонной сфере, чёткие этапы военного строительства, ориентированные на создание единого оборонного пространства и постепенное объединение военно-политических систем в регионе [6].

Анализ учредительных документов региональных объединений позволяет выделить такие стадии военно-политической интеграции, как сотрудничество, единое военно-политическое пространство и военно-политический союз.

Начальный этап, в рамках которого устанавливаются прямые институциональные связи между соответствующими органами в различных областях военно-политической интеграции, — это сотрудничество. Помимо прямых институциональных связей, на данном этапе может быть предусмотрена интеграция в оборонной политике и охране внешних границ, в борьбе с организованной преступностью, в обеспечении мира и безопасности, в сфере внешней политики по вопросам, представляющим взаимный интерес.

Единое военно-политическое пространство характеризуется более высоким уровнем военно-политической интеграции, когда государства создают общие вооружённые силы, которые проводят согласованную внешнюю политику, политику в области обороны и обеспечения безопасности, осуществляют на коллективной основе защиту территориальной целостности и суверенитета государств-членов.

Единый военно-политический союз — высший этап военно-политической интеграции. Можно предположить, что его создание предусматривает полное расформирование национальных вооружённых сил государств — членов региональной организации и передачу всех военно-политических полномочий с национального уровня специальным органам региональной организации для централизованного обеспечения безопасности в регионе и осуществления внешней политики государств.

\* \* \*

В основе любого взаимодействия государств на межнациональном уровне, в том числе и в рамках региональных организаций, лежит *право*. Именно право определяет статус и сферу деятельности главных действующих лиц в условиях интеграции, контролирует, а при необходимости и ограничивает их действия, выполняет роль своеобразного нормативного регулятора во взаимоотношениях

между участниками интеграционного процесса [7, р. 4]. Право осуществляет функцию “упорядочения и стимулирования интеграционного процесса, консолидации его содержательных и организационных структур” [8, с. 36].

Большинство региональных группировок нацелены на гармонизацию и унификацию национального законодательства, что ведёт к “состыковке” правовых систем и делает возможным единое регулирование. Интеграционные процессы осуществляются одновременно в двух правовых системах: на уровне международного права посредством учредительных и иных актов региональных организаций и на уровне национального законодательства посредством имплементации данных норм в национальное право государств. В большинстве организаций правовое взаимодействие сопровождается сотрудничеством между государствами в экономической, социальной и военно-политической сферах. В уставных актах региональных организаций стороны обычно указывают на правовое сотрудничество, при котором могут быть использованы различные механизмы: рецепция, гармонизация, унификация и стандартизация [9]. Рассмотрим эти механизмы подробнее.

*Рецепция* исследуется правоведами преимущественно в историческом контексте. Обычно ссылаются на римское право, нормы которого многие европейские страны воспроизводили в ходе развития национального законодательства. В Большой советской энциклопедии рецепция определяется как “заимствование и приспособление к условиям какой-либо страны права, выработанного в ином государстве или в предшествующую историческую эпоху” [10, с. 188]. Некоторые авторы предлагают рассматривать рецепцию в узком и широком смыслах [11, с. 109].

Применительно к правовой интеграции рецепция состоит в прямом заимствовании одним государством — членом регионального объединения крупных правовых комплексов правовой системы другого её участника. Однако в настоящее время такой механизм при формировании национального законодательства в региональных интеграционных процессах используется довольно редко.

Говоря о *гармонизации*, имеют в виду процессы сближения правовых систем в целом или же в пределах отдельных отраслей права, установления общих (единых) институтов, а также устранения неоправданных несоответствий. В международном праве гармонизация считается одной из наиболее распространённых форм сотрудничества. При этом в каких-то сферах сторонам удаётся достичь сближения национального законодательства в полной мере, а в других — лишь частично. Более того, в ряде региональных объединений стороны

изначально нацелены на гармонизацию законодательства только в строго определённых сферах взаимодействия, что в первую очередь обусловлено желанием государств сохранить свою национальную и историческую самобытность.

В ходе *унификации* национального законодательства стран-участников того или иного регионального объединения коллизии нормы их правовых порядков, которые используются в регламентации одних и тех же трансграничных отношений, заменяются единой нормой [12]. Цель унификации состоит не только в разработке и введении единых норм, но и в обеспечении их применения, основанном на межгосударственных актах [13], что обеспечивается их имплементацией в национальное законодательство стран-участников путём отсылки или инкорпорации. Данный механизм правовой интеграции не получил распространения, поскольку государства не стремятся принять на себя жёсткие обязательства. Гораздо предпочтительнее наиболее гибкая форма – гармонизация.

В качестве одного из перспективных направлений унификации и гармонизации национальных правовых систем многие региональные организации стали использовать *международные модельные нормы*, обязывающие государства разработать и принять правовые акты или нормы (международные или внутригосударственные) определённого содержания.

*Стандартизация* в широком смысле предполагает упорядочение деятельности в различных сферах общественной жизни. Этот механизм правового сотрудничества является неотъемлемой частью экономической интеграции и выступает как одна из форм интернационализации национальных законодательств в области технического регулирования. Благодаря стандартизации достигается упорядоченность производства, повышается конкурентоспособность продукции, работ или услуг.

Наконец, в ряде региональных организаций предусмотрено создание *единого правового пространства* (ЕПП) с целью правового регулирования социальных, экономических, внешнеполитических и иных отношений в регионе.

Изучение проблем интеграции занимает важное место в отечественной науке. В Советском Союзе объектом исследования были как региональные интеграционные процессы в Европе (Европейское экономическое сообщество, Европейское сообщество по атомной энергии) и в развивающихся странах, так и международная интеграция в странах социалистического блока (Совет экономической взаимопомощи, Варшавский договор и т.д.).

С 1990-х годов по настоящее время развитие отечественной школы региональной интеграции

связано с распадом биполярного мира, возникновением различных форм интеграционных процессов в Европе, Евразии, Америке, Африке, Азии и Южно-Тихоокеанском регионе. Теперь следует сконцентрироваться не только на анализе правовых аспектов взаимодействия стран, входящих в конкретные региональные объединения, но и на их взаимосвязи в целом, что позволит представить мировую картину региональной интеграции, её закономерности, а также особенности объединения стран в регионе в каждом конкретном случае. Правовая интеграция государств в рамках региональных организаций ведёт к смешению существующих правовых систем, созданию новых правовых пространств, которые могут иметь в том или ином регионе свою специфику и выражаться в степени интегрированности государств и субъектов права.

Обратимся к институциональным и правовым особенностям евразийской интеграции.

Специфика интеграции на евразийском пространстве обусловлена исторически налаженными связями, общим историческим прошлым стран Евразийского региона, схожими культурными, социальными, образовательными, языковыми и иными чертами. «Наши страны издавна соединены многослойными и тесными связями в экономической, культурной, цивилизационной сферах. На протяжении многих лет их экономики развивались как общий хозяйственный комплекс, что обеспечило относительную однородность технологического пространства, заложило основы производственной кооперации» [14]. Такой исторический «багаж» не мог не сказаться на интеграции бывших советских республик. Интеграционные тенденции на евразийском пространстве порождаются сложившейся в прошлом системой разделения труда, смешением и взаимопроникновением различных социально-культурных факторов (смешанные браки, единое культурное и образовательное поле, практическое отсутствие языковых барьеров и т.д.).

На евразийском пространстве действуют 19 региональных структур (организаций, форумов, программ), для которых характерна разноуровневая, разнотемпная, разновекторная, разносферная и разноформатная интеграция.

В Содружестве Независимых Государств, Евразийском экономическом союзе, Союзном государстве Беларуси и России и Организации договора о коллективной безопасности (ОДКБ), составляющих основу евразийской интеграции, ведущую роль играет Российская Федерация. Деятельность этих организаций направлена в первую очередь на взаимодействие стран в эконо-

мической, социальной и военно-политической областях.

Шанхайская организация сотрудничества (ШОС), Совет по взаимодействию и мерам доверия в Азии (СВМДА), Организация черноморского экономического сотрудничества (ОЧЭС), Саммит каспийских государств (СКГ), БРИКС, РИК и РКМ представляют собой площадки, на которых Россия делит лидерство с другими странами.

Желая достигнуть большей независимости от России и играть ведущую роль на постсоветском пространстве, ряд государств создали такие региональные структуры (без участия РФ), как Организация за демократию и экономическое развитие (ГУАМ) и Содружество демократического выбора (СДВ), основной курс которых – интеграция со странами ЕС и США.

Самостоятельную группу составляют Организация экономического сотрудничества (ОЭС), Совет сотрудничества тюркских государств (ССТГ, Тюркский совет), Организация по совместному развитию тюркской культуры и искусства (ТЮРКСОЙ), Союз персоязычных государств (СПГ), куда входят страны, объединённые по территориально-этническому признаку. Отдельно функционируют Сообщество “За демократию и права народов” (СДПН, СНГ-2), Программа Центрально-азиатского регионального экономического сотрудничества (ЦАРЭС) и Специальная программа ООН для экономик Центральной Азии (СПЕКА).

Региональные процессы на евразийском пространстве приобретают всё более сложные взаимозависимые формы. Несмотря на значительные трудности в реализации интеграционных планов, эксперты позитивно оценивают достигнутые результаты, а также ожидаемый эффект от проведения запланированных мероприятий [15, с. 110].

Региональные акты организаций, в которых Россия выступает полноправным членом, являются частью её системы законодательства. На объединённой территории государств-участников ЕврАзЭС начал действовать Таможенный кодекс Таможенного союза, который заменил соответствующие национальные кодексы. С 1 января 2012 г. вступили в силу все основополагающие акты ЕврАзЭС, направленные на формирование единого экономического пространства, а 29 мая 2014 г. в Астане на заседании Высшего евразийского экономического совета главы России, Беларуси и Казахстана подписали Договор о Евразийском экономическом союзе (ЕАЭС), который стал функционировать с 1 января 2015 г. В системе российского законодательства формируется особый блок региональных и национальных актов, что свидетельствует о становлении *евразийской отрасли законодательства*.

Региональные правовые комплексы создаются в настоящее время во многих регионах мира. Право Европейского союза, к примеру, уже представляет собой консолидированную отрасль законодательства. Назрела объективная необходимость в консолидации норм, регулирующих сферу евразийской интеграции в единый блок и развития нового направления – *евразийского права*. Кстати, в ведущих научных и учебных заведениях нашей страны уже сложились научные школы, изучающие отдельные аспекты евразийской интеграции.

Особого внимания заслуживает вопрос о систематизации евразийского права не только как научного направления, но и как учебной дисциплины. Очевидна и потребность в специалистах в рассматриваемой области. Представляется, что нынешний подход, когда правовое регулирование в сфере евразийской интеграции изучается в рамках существующих дисциплин, устарел. Следует разработать новую дисциплину комплексного характера (евразийское право), которая предметно изучала бы как вопросы евразийской интеграции, так и зарубежный опыт.

Говоря о формировании системы евразийского права, необходимо учитывать, что её внутренние элементы должны быть согласованы и находиться в постоянной взаимосвязи. Однако ввиду масштабности этой задачи сейчас можно вести речь исключительно о становлении и развитии искомым критериев систематизации и структурирования.

\* \* \*

Возникающие проблемы опосредованы различным уровнем интеграции государств в рамках тех или иных региональных объединений, разнообразной внутренней структурой каждой региональной организации, существенными различиями в порядке принятия решений и юридической силе таких решений, а также многими иными факторами.

В региональные группы страны объединяются как по территориальному и социальному (общие культурно-исторические и политико-правовые традиции), так и по функциональному принципу (общность доктрин и целей). Перед такими странами обычно стоят схожие проблемы, решение которых требует совместных усилий. Кроме того, в уже сложившихся регионах в большинстве случаев действует специфическая система права.

Региональный признак с позиции формирования институтов права представляется наиболее удачным, именно благодаря ему в дальнейшем можно выявить определённые закономерности в региональных интеграционных процессах в крупных регионах. Происходящие в Евразии интеграционные процессы требуют уже не прикладных, инструментальных, функциональных

или иных аналогичных подходов к их изучению, а расширения границ правопонимания этих явлений.

Необходимо учитывать, что на каждом континенте функционируют конкретные субрегиональные организации со своими собственными целями, структурой, численным составом участников и иными особенностями. Поэтому в евразийское право должно входить право таких организаций, как Содружество Независимых Государств, Союзное государство Беларуси и России, Евразийский экономический союз, Шанхайская организация сотрудничества, и других организаций, саммитов и форумов, действующих на евразийском пространстве.

Можно констатировать определённое отставание евразийских государств в ряде сфер регионального сотрудничества от евроатлантических стран. Так, правовые комиссии, занимающиеся распространением евроатлантических ценностей, действуют не только в Европе (среди них Европейская комиссия за демократию через право и Европейская комиссия по эффективности правосудия), но и в Америке (Центр изучения правосудия обеих Америк и Межамериканский юридический комитет). Активно функционируют Европейский суд по правам человека и аналогичные региональные суды — Африканский суд справедливости и прав человека, Межамериканский суд по правам человека. Их деятельность охватывает как европейские страны, так и ряд стран Азии, Африки, Евразии и Америки.

Европейские парламентские организации работают в рамках межпарламентских ассамблей. Это Европейско-Латиноамериканская парламентская ассамблея и Парламентская ассамблея Африканского, Карибского, Тихоокеанского регионов, включающие европейский парламент и парламенты стран и региональных объединений Латинской Америки, Африки и Карибского бассейна.

Известны межрегиональные форумы: США — Африка, Европа — Азия, США — АСЕАН, глобальные евроатлантические проекты по созданию Трансатлантического союза (Трансатлантическая законодательная ассамблея, Трансатлантическое торгово-инвестиционное партнёрство и Транстихоокеанского партнёрства и т.д. Очевидно, что назрела объективная необходимость создания аналогичных структур и на евразийском пространстве.

Теоретические аспекты евразийского права должны быть отнесены к числу наиболее актуальных и приоритетных направлений развития отечественной юридической науки, заслуживающих самостоятельного изучения и развития. Это позволит активизировать деятельность по созданию и взаимодействию необходимых евразийских институциональных

механизмов и будет способствовать продвижению в мире общеевразийских ценностей, повышению роли евразийского полюса на мировой арене.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Hettne B.* Globalization and the New Regionalism: The Second Great Transformation // *Globalism and the New Regionalism. International Political Economy Series / Ed. B. Hettne, A. Inotai and O. Sunkel.* Palgrave Macmillan, March 1999.
2. *Яровой Г.О.* Регионализм и трансграничное сотрудничество в Европе. СПб.: Норма, 2007.
3. *Balassa B.* The theory of economic integration. L., 1962.
4. *Курбанов Р.А.* Региональная интеграция в Африке: евро-африканские интеграционные процессы в рамках “зоны франка” // *Международное право и международные организации.* 2015. № 2. С. 147–158.
5. *Зорькин В.Д.* Цивилизация права и развитие России. М.: Норма, 2015.
6. *Захаров В.М.* Евразийский проект: Россия остается лидером военно-политической интеграции на постсоветском пространстве // *Национальная оборона.* 2012. № 5. <http://www.oborona.ru/includes/periodics/geopolitics/2012/0305/11098005/detail.shtml>
7. *Cappelletti M., Secombe M., Weiler J.* Integration through law: Europe and the American federal experience. 3 vols. N.Y.: De Gruyter, 1986. V. 1. Book 1.
8. *Усенко Е.Т.* Интеграция как всемирно-исторический процесс и международное право // *Московский журнал международного права.* 1992. № 1. С. 25–49.
9. *Лукашук И.И.* Глобализация, государство, право, XXI век. М.: Спарк, 2000.
10. Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1975. Т. 22.
11. *Мантуров В.В.* Соотношение рецепции и иных форм правовых заимствований // *Сибирский юридический вестник.* 2012. № 4. С. 104–109.
12. *Cutler A.C.* Public Meets Private: The International Unification and Harmonisation of Private International Trade Law // *Global Society: Journal of Interdisciplinary International Relations.* 1999. V. 13. Is. 1.
13. *Крутий Е.А.* Соотношение понятий унификации и кодификации в современном международном частном праве // *Международное публичное и частное право.* 2012. № 3. С. 7–9.
14. *Лавров С.В.* Евразийский интеграционный проект: устремлённость в будущее. Евразийская интеграция в XXI веке / Ред. А.А. Климов, В.Н. Лексин, А.Н. Швецов. М.: ЛЕНАНД, 2012.
15. *Чуфрин Г.И.* Очерки евразийской интеграции. М.: Весь Мир, 2013.

---

---

ПРОБЛЕМЫ  
ЭКОЛОГИИ

---

---

СУПРАМОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ:  
КЛИМАТИЧЕСКИЕ И БИОФИЗИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

© 2017 г. С.В. Авакян

*Всероссийский научный центр “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”,*

*Санкт-Петербург, Россия*

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,*

*Санкт-Петербург, Россия*

e-mail: avak2@mail.ru; avak@soi.spb.ru

Поступила в редакцию 04.07.2016 г.

В статье представлены результаты исследований каналов влияния на погоду, климат и человека таких главных проявлений солнечно-геомагнитной активности, как вспышки на Солнце и магнитные бури. Сопутствующие потоки энергии целиком поглощаются в земной ионосфере, вызывая её эмиссионное излучение в микроволновом (УВЧ, СВЧ, КВЧ) диапазоне. Показано, что это микроволновое излучение может управлять зарождением оптически тонкой облачности через создание в тропосфере конденсационно-кластерной дымки. Схожий подход предложен для механизма образования водных ассоциатов в организме человека.

Использованы процессы из физики атома и атомных столкновений, когда эффект кластерообразования определяется увеличением в поле микроволн орбитального момента у ридберговских электронов, участвующих в нейтрализации заряда ассоциатов. Количественные оценки эффектов кластеризации во время мировой магнитной бури согласуются с имеющимися экспериментами.

**Ключевые слова:** кластерообразование из паров воды, водные ассоциаты, микроволновое излучение, ридберговский электрон.

DOI: 10.7868/S086958731705005X

Одной из самых насущных и сложных проблем в исследованиях окружающей среды является обнаружение механизмов воздействия на её состояние ультракоротких радиоволн естественной и антропогенной природы. Сложность здесь обусловлена необходимостью работать на стыке наук – атомной физики, астрофизики, геофизики, оптики, физики атмосферы и холодной плазмы, а также физической химии, химии живого и биофизики. Действительно, нас волнует состояние окружающей среды

и её влияние на наше здоровье, особенно в свете постоянно возрастающего уровня электромагнитного фона, но до настоящего времени ни физики, ни биологи не имеют общепринятых механизмов описания роли наиболее хорошо проникающего в среду обитания микроволнового излучения, прежде всего СВЧ-излучения, в регулировании как основных погодно-климатических параметров, так и состояния живого организма. Это относится и к проблемам воздействия главного космофизического фактора – вариабельности активности Солнца – на погоду, климат и физиологию человека.

Данные проблемы научно сформулированы в первые десятилетия XX в. отечественными учёными, в первую очередь основоположником гелиобиологии профессором А.Л. Чижевским. В современной науке они определены как аспекты солнечно-земных (погодно-климатических и биосферных, включая человека) связей и крайне интенсивно исследуются на протяжении уже нескольких десятков лет. В последнее время к данным проблемам



АВАКЯН Сергей Вазгенович – иностранный член НАН Республики Армения, доктор физико-математических наук, профессор СПбПУ Петра Великого, начальник лаборатории аэрокосмической физической оптики ВНИЦ ГОИ им. С.И. Вавилова.

добавилась ещё одна – выявление степени вреда от интенсивно возрастающего антропогенного микроволнового излучения, в частности сотовой телефонии, а также бытовых приборов и устройств.

Все превращения в окружающей среде имеют физико-химическую природу и происходят в присутствии возрастающего уровня электромагнитного фона в широком диапазоне частот. При всём этом заметного прогресса в понимании физических механизмов воздействия микроволн на состояние природной среды не наблюдается, происходит лишь тотальное накопление наблюдательных фактов, прежде всего в отношении роли повышенной солнечно-геомагнитной активности (вспышки на Солнце и магнитные бури) в вариациях как метеопараметров нижней атмосферы, так и в состоянии здоровья человека [1].

В книге [2] обсуждается роль воды в живом организме и в химии окружающей среды, при этом повышенное внимание уделяется присущей её молекулам способности образовывать сложные фрагменты (структуры) благодаря существованию межмолекулярных водородных связей. Однако автор рассматривает только стандартную для химика ситуацию, когда “супрамолекулярные системы возникают самопроизвольно из множества молекул и их частиц, имеющих геометрическое и химическое соответствие и объединённых динамическими межмолекулярными или межчастичными связями” [2, с. 127]. Этот подход составляет основу современной супрамолекулярной химии [3], но не позволяет предложить каналы регулирования таких процессов внешними источниками электромагнитных излучений, включая микроволновые. Напомним, что “супрамолекулярная химия – химия за пределами молекулы, описывающая сложные образования, которые являются результатом ассоциации двух (или более) частиц, связанных вместе межмолекулярными силами” [3, с. 13].

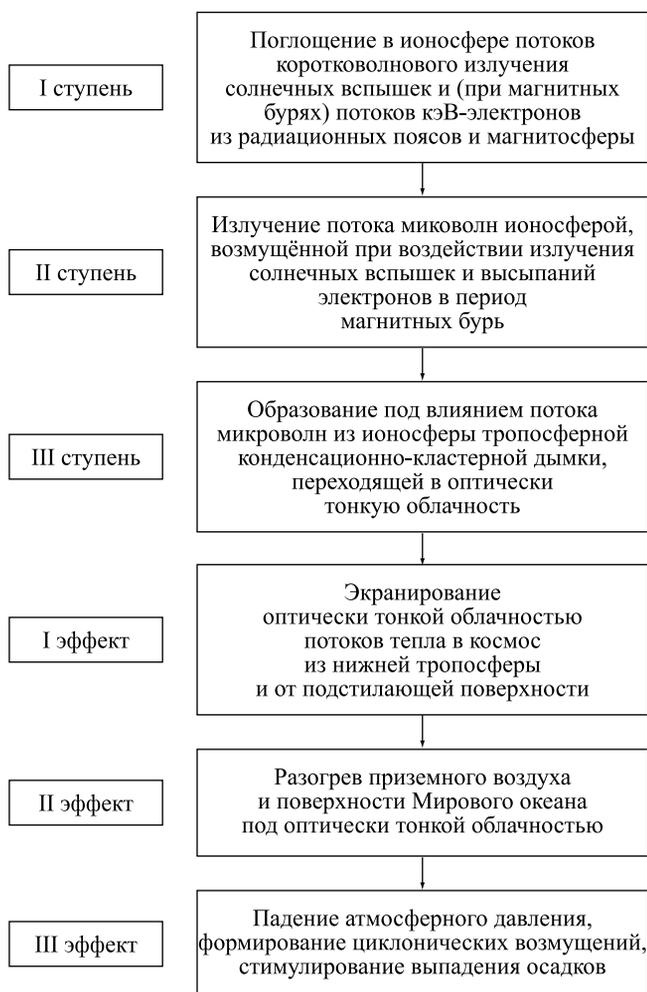
В августе 2014 г. на 40-й (юбилейной и проведённой поэтому в Москве, в честь заслуг нашей страны как пионера запуска первого в мире искусственного спутника Земли и первого человека в космос) Генеральной ассамблее Комитета по исследованию космического пространства (КОСПАР) наконец-то было предложено вывести на первый план изучение связи земных проявлений с вариациями космической погоды в Программе исследований COSPAR/ILWS (International Living with the Star) Team [4]. Это программа совокупного рассмотрения уязвимости погодно-климатической системы и самого человека при воздействии космических факторов. По результатам работы ассамблеи воссоздана программа TIGER (Thermospheric Ionospheric Geospheric Research Program [5]) с участием представителя России. Тематика исследований программы полностью

охватывает проблему воздействия главных факторов солнечно-геомагнитной активности на земные ионосферу, погоду и климат.

В упомянутых международных неформальных научных сообществах повышенное внимание уделяется как раз совместному рассмотрению уязвимости человека и погодно-климатической системы в случае воздействия космической погоды при вариациях солнечно-геомагнитной активности. Представляемые в статье результаты целиком соответствуют вышеперечисленным приоритетам. Они основаны на исследованиях Государственного оптического института им. С.И. Вавилова [6–10] в рамках вновь разрабатываемой супрамолекулярной физики. Предложено следующее её определение: супрамолекулярная физика – это физика за пределами молекулы (атомно-молекулярного остова), в эволюции которой в сложные формы (кластеры, ассоциаты) принимает участие электромагнитное излучение внешнего происхождения, поглощаемое ридберговски возбуждёнными составляющими молекулярного комплекса с увеличением его стабильности (за счёт возрастания величины орбитального момента ридберговского электрона). Такое направление развивается в приложении к насущным задачам физики окружающей среды и физики солнечно-земных связей с целью выявления физических механизмов, ответственных за воздействие космических факторов на погодно-климатические характеристики и здоровье человека [11–13]. При этом учитывается, что образование супрамолекулярных систем – кластеров (ассоциатов) – способно кардинально менять как радиационный баланс атмосферы, так и свойства жидкостей в живом организме.

#### МЕХАНИЗМЫ СОЛНЕЧНО-ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ И БИОСФЕРНЫХ СВЯЗЕЙ

В [6–8] предложено учитывать новый фактор в физике солнечно-земных связей применительно к биосферным и метеорологическим проявлениям – микроволновое излучение ионосферы Земли. К настоящему времени в многочисленных космических экспериментах усилиями мировой науки определены вариации всех энергетических потоков, связанных с солнечной и геомагнитной активностью. Полученные результаты свидетельствуют, что эти потоки не доходят до нижней атмосферы и, следовательно, прямое воздействие эффектов солнечных вспышек и магнитных бурь на биосферу и нижние слои атмосферы (тропосферу и её погодно-климатические характеристики) невозможно. В то же время в ряде отечественных и зарубежных радиофизических экспериментов обнаружено микроволновое излучение земной ионосферы в периоды



**Рис. 1.** Схема воздействия факторов солнечно-геомагнитной активности на тропосферные метеопараметры с участием радиооптического трёхступенчатого триггерного механизма

солнечных вспышек и магнитных бурь (полярных сияний), а механизм генерации предложен в [14]. Для этого впервые привлечён известный из оптики плазмы процесс заселения высоковозбуждённых электронных (ридберговских) состояний при ударе энергичными электронами (фотоэлектронами, вторичными электронами и электронами Оже), высвобождаемыми при ионообразовании в верхней атмосфере под воздействием ионизирующих потоков коротковолнового излучения Солнца и корпускулярных высыпаний из радиационных поясов. Эмиссионное излучение у состояний с главным квантовым числом  $n > 10$  в переходах с изменением орбитального квантового момента /ридберговского электрона лежит в микроволновом диапазоне. Ранее такой процесс в ионосфере не рассматривался. Важно, что поток этого излучения пропорционален по энергетике как мощности вспышки, так и силе бури, то есть хорошо отражает степень текущей солнечно-геомагнитной активности.

Определяющим для физики солнечно-земных связей обстоятельством является то, что микроволновое излучение (миллиметровые, сантиметровые и дециметровые волны), интенсивность потока которого несёт полную информацию о текущей степени повышения возмущённости ионосферы, почти свободно проникает до земной поверхности. Именно это обстоятельство впервые учтено при разработке физического механизма солнечно-земных связей в приложении к объяснению обнаруживаемых корреляций в системах “Солнце – погода и климат” и “Солнце – биосфера” [6–8]. Общность подхода к этим проблемам связана с использованием в [6–8] представлений, выдвинутых ранее [15–18] для процессов ассоциации и диссоциации с участием сложных атомно-молекулярных положительно заряженных комплексных ионов, в том числе содержащих молекулы воды как в условиях давлений, присущих земной тропосфере [15], так и для жидкости [16]. Гипотеза об обязательном наличии промежуточного ридберговского состояния у электрона, нейтрализующего положительный заряд таких ионов, позволила предложить канал контроля содержания в нижней атмосфере кластеров из молекул воды уровнем текущей солнечно-геомагнитной активности [8–10]. К настоящему времени экспериментально выявлена связь между образованием конденсационно-кластерной дымки в тропосфере и воздействием всплесков микроволнового излучения Солнца, а также солнечных вспышек и магнитных бурь [8–10]. Однако физический механизм влияния микроволн на кластерообразование в этих и других работах не был определён.

В статье [8] при объяснении природы современного глобального потепления через учёт векового хода солнечно-геомагнитной активности был разработан радиооптический трёхступенчатый триггерный механизм для интерпретации совокупности спутниковых данных последних десятилетий по глобальной облачности и радиационному балансу Земли. По аналогии для определения каналов связи в системе “Солнце – магнитосфера – человеческий организм” предложен двухрезонансный механизм с учётом вклада высокочастотных и низкочастотных излучений возмущённой ионосферы [6–8].

В первом случае это позволило рассматривать роль солнечно-геомагнитной активности в контроле облачности. Термин “радиооптический” здесь означает, что воздействие солнечно-геомагнитной активности на тропосферу осуществляется в радиоволновом (микроволновом) диапазоне, в области длин волн от миллиметров до дециметров, при этом регулируются оптические параметры конденсационно-кластерной дымки в тропосфере. Генерация спорадического микроволнового излучения происходит в земной ионосфере за счёт

полного поглощения в ней энергии потоков коротковолнового излучения от солнечных вспышек и электронов, высыпаящихся из радиационных поясов в периоды сильных (мировых) магнитных бурь. Триггерный (то есть усилительный) принцип в этом механизме проявляется при регулировке радиационного баланса в тропосфере образующейся из кластеров водяного пара субвизуальной дымкой, поскольку эта дымка, как мощный экран, задерживает выход тепла от подстилающей поверхности в космос, но при этом пропускает почти весь свет от Солнца к земной поверхности. Так что налицо, действительно, три ступени (рис. 1). Собственно этим механизмом нами фактически введён в рассмотрение учёт парникового эффекта на водяном паре (ведь дымка состоит из кластеров молекул воды), необходимость чего всегда осознавалась специалистами по физической оптике нижней атмосферы, поскольку пары воды – основной парниковый газ в тропосфере, и его намного больше (до 36–70%), чем углекислого газа (9–26%), метана (4–9%) или озона (3–7%) [19]. Контроль уровня распространённости облачного покрова определяется воздействием микроволн на скорость образования конденсационно-кластерной дымки, предтечи оптически тонкой облачности. Эта облачность является разогревающей, что становится основной причиной современного глобального потепления в эпоху прохождения в конце XX – начале XXI столетий векового максимума как солнечной, так и геомагнитной активности [9, 10].

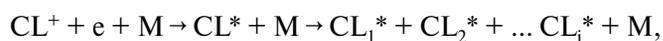
Во втором случае предложен механизм двойного резонанса при воздействии энергии потока несущей микроволновой частоты на элементы тела человека и амплитудной модуляции этого потока ОНЧ-волнами (диапазон очень низких частот) в ионосферных резонаторах Шумана и Альфвена на ритмы человеческого организма. В [6, 7] собраны данные экспериментальных и теоретических исследований по известным частотам СВЧ-резонансов в живых системах в области от 3.6 мм до 30 см для клетки, ДНК- и РНК-молекул, молекулы гемоглобина, клеточной мембраны и эритроцитов. При спорадическом возрастании потока микроволн из ионосферы в периоды солнечных вспышек и особенно магнитных бурь изменение реологических свойств крови [20] с увеличением её вязкости (агрегатоспособности эритроцитов) приводит к ухудшению самочувствия, особенно у людей с нарушениями сердечно-сосудистого и мозгового кровообращения. Наш подход с учётом вклада двух диапазонов частот излучений ионосферы, возмущённой при солнечно-геомагнитной активности (УВЧ-, СВЧ-, КВЧ-излучение в области длин волн от 10 дм до 1 мм и ОНЧ в диапазоне ниже 100 Гц), позволил предложить решение одновременно обеих проблем солнечно-магнитосферных воздействий

на человеческий организм: энергетической (благодаря наивысшей в радиодиапазоне энергии квантов микроволн из ионосферы) и информационной (поскольку область ниже 100 Гц содержит частоты практически всех резонансов организма).

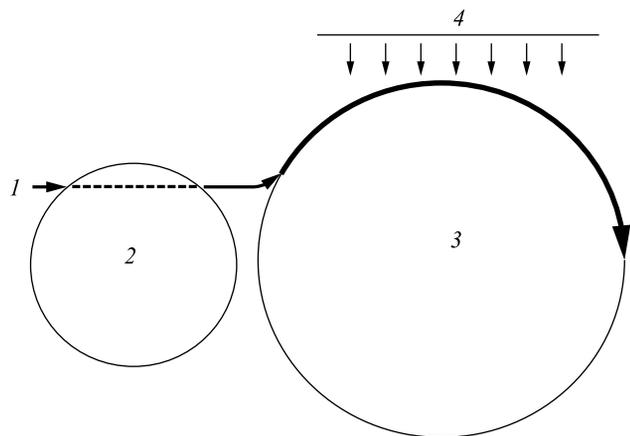
Предложенная гипотеза [8] о влиянии микроволн из ионосферы на образование кластеров в нижней атмосфере основана на совокупности экспериментальных и теоретических работ [15–18] по определяющему вкладу “столкновительной” диссоциативной рекомбинации кластерных ионов в газах и жидкостях (в первую очередь из молекул воды) при участии ридберговски возбуждённых состояний. При этом микроволновое излучение ионосферы (в общем случае – окружающей нас среды) в процессе индуцированного поглощения ридберговски возбуждённым электроном повышает величину его орбитального момента, что приводит к снижению скоростей диссоциативной рекомбинации кластерных ионов в тропосфере и их распада, способствуя стабилизации кластеров [15, 16]. В случае молекул с большим сродством к протону (включая воду, аммиак и метан) известны также процессы ассоциации через промежуточный захват электрона на ридберговскую орбиталь [17, 18]. Следовательно, и в этом случае гипотетически возможно управление степенью стабилизации образующегося нейтрального ассоциата, в том числе из воды в живом организме через увеличение орбитального момента электрона.

#### ТРОПОСФЕРНАЯ КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПАРОВ ВОДЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В рамках супрамолекулярной физики теоретические оценки с учётом представлений из физики атома и атомных столкновений количественно подтверждают вклад механизма роста кластерообразования в тропосфере [11–13]. Расчёты основывались на подходе, изложенном в работе [15], где показано, что результаты лабораторных экспериментов по развалу кластеров из паров воды и углекислого газа удаётся правильно интерпретировать только в том случае, если в качестве преобладающего процесса развала кластерных ионов предложить новый процесс трёхчастичной электрон-ионной “столкновительной диссоциативной рекомбинации”. Процесс описывается как



где  $CL^+$  – кластерный положительный ион;  $e$  – свободный электрон, образованный при тропосферной ионизации естественными радиоактивными источниками и космическими лучами;  $M$  – ансамбль нейтральных молекул окружающего газа;  $CL^*$  – нейтральный кластер с электроном,



**Рис. 2.** Схема возбуждения ридберговского электрона в процессе столкновительной диссоциативной рекомбинации кластерного иона

$l$  – электрон ионизации, термализующийся в неупругих столкновениях с колебательным возбуждением ансамбля из молекул (2) газа тропосферы; 3 – положительный кластерный ион, как правило, из паров воды; 4 – приходящий из ионосферы поток микроволнового излучения. Горизонтальная линия с полуокружностью (полуэллипсом) – траектория термализованного электрона с выходом в кулоновском поле кластерного иона на ридберговскую орбиту и с последующим участием в его столкновительной диссоциативной рекомбинации

захваченным на высоковозбуждённую (ридберговскую) орбиту;  $CL_1^* \dots CL_i^*$  – осколки кластера (с меньшим, чем у первичного кластерного иона, числом атомно-молекулярных частиц).

По [15], такая рекомбинация проходит в две стадии: сначала происходит образование (возбуждение) ридберговского электрона (рис. 2) с заселением ридберговских уровней кластера. Далее электроны в ридберговских состояниях участвуют в безызлучательных переходах, которые приводят к диссоциации кластера. Коэффициенты скорости такой диссоциации сильно зависят от величины орбитального момента ( $l$ ) ридберговского уровня во время столкновения: вероятность диссоциации увеличивается для малых величин  $l$  и, наоборот, низка при больших значениях  $l$ , когда электрон не проникает в атомно-молекулярный остов.

Эксперименты показывают, что ионосфера способна генерировать микроволновое излучение (в результате возбуждения электронным ударом ридберговских уровней атомов и молекул газов верхней атмосферы) при солнечных вспышках и особенно в периоды магнитных бурь [8–10]. Наблюдаются и вариации величины содержания паров воды в столбе тропосферы (с переводом их в кластеры) как в периоды микроволновых радиовсплесков Солнца (на длинах волн более 2 см), так и при вспышках и бурях, что связывается с уменьшением вероятности диссоциации кластерных ионов нижней атмосферы. Итак, можно

предположить, что микроволновый поток способствует росту концентрации кластеров из паров воды в тропосфере, приводящему к образованию конденсационной дымки и оптически тонкой облачности, в частности, в виде “молодых” перистых облаков с плотностью частиц  $10\text{--}15\text{ см}^{-3}$  [21].

Покажем, что такая начальная плотность заходящейся облачности вполне достижима в главную фазу мировой магнитной бури (продолжительность которой может достигать 6–7 часов), то есть при полярном сиянии балла IV по IBC (международная шкала коэффициентов яркости).

Согласно [6, 22], для сильного полярного сияния поток квантов микроволнового излучения составляет для максимума сияния (в главную фазу бури)  $F \sim 10^{12} \times \text{см}^{-2} \times \text{с}^{-1}$ . Поглощение кванта этого микроволнового излучения увеличивает орбитальный угловой момент  $l$  ридберговского электрона (см. рис. 2) на единицу, снижая вероятность диссоциации кластера до порядка величины [23]. Сечение ( $\sigma$ ) этого взаимодействия в  $n^6$  раз ( $n$  – главное квантовое число) превышает газокINETическое  $(a_0)^2$  и пропорционально квадрату длины волны  $\lambda^2$ . Поскольку  $\lambda \sim c \times n^3$  (где  $c=137$  – скорость света в атомных единицах), то максимальное сечение индуцированного поглощения  $\sigma = 0.25 c^2 \times n^6 (a_0)^2$ , где  $(a_0)^2 = 0.25 \times 10^{-16} \text{см}^2$ . В результате получаем, что  $\sigma = 1.2 \times n^6 \times 10^{-12} \text{см}^2$  [13]. Фактически оно будет меньше, поскольку имеется лоренцевское, столкновительное, уширение [6]. Это выражение следует считать оценкой сверху. Тогда в период максимума бури число кластеров, в которых состоялся индуцированный поглощением потока микроволновых квантов из ионосферы переход ридберговского электрона с изменением (увеличением) орбитального момента, составит  $P = \sigma \times N \times F \times R$ , где  $N=10^4 \text{см}^{-3}$  – средняя плотность кластерных ионов в тропосфере,  $R=10^{-11}\text{--}10^{-13} \text{с}$  – диапазон средних значений продолжительности процесса диссоциативной рекомбинации. Согласно [13], для ридберговских состояний вполне оправдано квазиклассическое приближение, в соответствии с которым переходы с поглощением кванта и увеличением орбитального момента  $l$  (более предпочтительные для торможения процесса столкновительной диссоциативной рекомбинации) будут преобладать над индуцированными переходами с уменьшением  $l$  и излучением, как и для случая круговых орбит.

Расчёт  $P$  даёт [12] для периода главной фазы (со средней длительностью  $T \sim 2 \times 10^4 \text{с}$ ) сильной мировой магнитной бури значения от 8 до  $800 \text{см}^{-3}$  (при величине главного квантового числа  $n=10$ ) и от 120 до  $1.2 \times 10^4 \text{см}^{-3}$  (при  $n=20$ ) для плотности тех кластерных ионов, которые испытывают торможение скорости процесса столкновительной диссоциативной рекомбинации. Выполненные

оценки подтверждают возможность иметь порядка 10–15 и более ридберговски возбуждённых, замедленно нейтрализующихся кластерных ионов в см<sup>3</sup>, причём рост концентрации таких ионов, согласно современным представлениям, идёт несколько часов. После начала главной фазы полярного сияния, согласно наземным наблюдениям, до 6–7 часов нарастает уменьшение атмосферной прозрачности.

Итак, гипотеза о возможной роли радиооптического трёхступенчатого триггерного механизма в контроле солнечно-магнитосферных (погодно-климатических) связей [8] через воздействие потока микроволн из возмущённой земной ионосферы на генерацию конденсационно-кластерной дымки в достаточной мере согласуется с количественными оценками эффекта, основанными на привлечении процессов возбуждения ридберговских состояний в ионосфере и тропосфере.

### МЕХАНИЗМ РЕГУЛЯЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ ВОДНЫХ АССОЦИАТОВ

Выполнены расчёты величины воздействия микроволнового излучения ионосферы на воду живого организма в период главной фазы мировой магнитной бури. Общность подхода к проблемам кластеризации водяных паров в тропосфере и образованию водных ассоциатов в организме человека связана с использованием представлений [15–18] (выдвинутых ранее для процессов ассоциации и диссоциации сложных атомно-молекулярных положительно заряженных комплексных ионов), в соответствии с которыми участие ридберговских состояний с большими значениями орбитальных квантовых моментов способствует уменьшению скорости развала кластеров (ассоциатов) и, соответственно, росту их стабильности. Опыт привлечения результатов этих исследований при разработке модели генерации оптически тонкой перистой облачности (см. предыдущий раздел статьи, а также [8–13]) подтверждает количественную адекватность описания процессов формирования исходной конденсационно-кластерной дымки с определяющим вкладом поглощения микроволновых квантов в возбуждение ридберговских состояний, что способствует увеличению скорости образования кластеров. Следует подчеркнуть, что используемые нами процессы активно протекают и в жидкостях [16, 24], но “вероятность образования ридберговских орбиталей в конденсированной фазе меньше, чем в газе, хотя есть много экспериментальных результатов, где определено их наличие, например, по энергии переноса между высоковозбуждёнными состояниями” [24, с. 370, 393].

В [17, 18] констатировано, что в случае ассоциации, то есть образования сложных комплексов,

процесс идёт через добавление протона к прародительским молекулам благодаря их высокому сродству к протону. Образующиеся положительные ионы нейтрализуются захватом электрона на ридберговскую орбиталь [17]. В этих ситуациях вероятность процессов ассоциации определяется, как обычно, величиной орбитального момента ( $l$ ) ридберговского электрона: вероятность процессов уменьшается при малых величинах  $l$  и, наоборот, велика при больших значениях ( $l > 2$ ) [8, 15]. Следовательно, в периоды повышенного потока микроволн из ионосферы при поглощении их ридберговским электроном будет происходить уменьшение скорости развала кластеров.

Покажем возможный вклад поглощения микроволн в процесс ассоциации с участием сложных молекулярных, в том числе водосодержащих, комплексов в живом организме. Как и в случае тропосферной кластеризации, рассмотрим главную фазу мировой магнитной бури, когда поток квантов микроволнового излучения  $F = 10^{12}$  квантов/см<sup>2</sup> × с. Сечение поглощения кванта микроволнового излучения ( $S$ ) с увеличением орбитального углового момента  $l$  на единицу в  $n^6$  раз превышает газокинетическое и может достигать до  $\sim 1.2 \times n^6 \times 10^{-12}$  см<sup>2</sup> [13]. Тогда величина вероятности образования ассоциатов, стабилизированных индуцированным поглощением потока микроволн электроном на ридберговской орбитали [17] с ростом величины его  $l$  на единицу, будет составлять  $p = S \times F \times r$ , где  $R = 10^{-12}$  с – среднее значение продолжительности процесса ассоциации сложной молекулы через нейтрализацию ридберговским электроном положительного заряда атомно-молекулярного комплексного иона (образующегося с участием молекулы H<sub>2</sub>O из-за высокого сродства к протону [17]), присоединившего протон, например, той же молекулы воды.

Расчётная оценка для  $n = 100$  по приведённой формуле даёт величину  $p = 0.26$ . То есть в каждом четвертом случае поглощения кванта из потока микроволн, излучаемого ионосферой в главную фазу мировой магнитной бури, возможно создание стабильного ассоциата в скин-слое (толщиной до  $> 10$  см в дециметровом диапазоне), в первую очередь из молекул воды, поскольку её в живом организме – до 70% по массе, а по числу молекул – более 90% [2]. Полученные значения  $p$  являются несколько завышенными не только из-за использованной предельной [13] величины сечения процесса  $S$ , но и из-за неопределённостей [24] со снижением вероятности образования ридберговских орбиталей в конденсированной фазе (в сравнении с её величиной в газе). Значение  $n=100$  выбрано, исходя из оценки вероятного размера “шубы” из молекул воды ( $\sim < 1\mu$ ), облепляющей биополимеры, таков и диаметр ридберговской (боровской) орбиты

с данным  $n$ . В [13] показано, что нет смысла учитывать значения  $n > 100$  из-за сильной дезактивации таких состояний при столкновениях с окружающей средой (тем более в жидкостях). Реальные значения  $n$  начинаются с  $n = 10$ , таким образом, в действительности мы получили заведомо верхнюю оценку для эффекта магнитной бури в ассоциатообразовании молекул воды в скин-слое. При этом время, за которое возможно поглощение микроволнового кванта (и соответствующий переход электрона в более высокое (по величине орбитального углового момента  $l$ ) состояние, составляет даже для  $n = 100$  лишь  $1/100$  периода обращения ридберговского электрона в атоме водорода, протон которого участвует в присоединении новой молекулы воды через процесс реализации свойства высокого сродства к протону у этой молекулы [18]. Так что в привлекаемом нами физическом механизме ассоциатообразования после присоединения протона новой молекулы воды, можно рассматривать процесс переноса электрона по ридберговским орбитам атома водорода. Ведь известно [25, с. 9], что составные части ионов ассоциатов (кластеров) сохраняют свою индивидуальность. Полученная величина сопоставима с выходом многих жизненно важных химических реакций в живом организме [2]. Имеется в виду, что кластеризация воды в организме может ограничивать мембранный перенос, обмен энергией и информацией, ослабить действие определённых элементов организма из-за покрытия “шубой” кластерной природы, увеличивать вязкость биологических жидкостей, включая кровь, лимфу, желчь, а также продуктов жизнедеятельности. Микроволновый контроль состояния организма посредством ионосферных возмущений способен проявляться в жизнедеятельности человека в периоды мировой магнитной бури и в меньшей мере во время достаточно сильных вспышек на Солнце [26]. В последнем случае эффект может быть ослаблен в 10–100 раз.

В рамках рассматриваемого эффекта – появления “шубы” водных ассоциатов – можно пояснить данные по ревматоидному артриту [27, 28]. Клиническое течение ухудшается при возникновении магнитных бурь (у 72% больных показатели функций суставов и силы мышц кистей рук достоверно уменьшались на фоне появления гиперкоагуляции по данным тромбоэластограммы [27]), также наблюдается 5–6-летняя периодичность увеличения числа случаев первичного проявления заболевания с его генерализацией – вовлечением в патологический процесс новых групп суставов [28]. При этом начало болезни совпадает с максимумами и минимумами 11-летнего цикла активности Солнца [28]. В таком цикле и вспышки, и магнитные бури имеют обычно по два максимума (главный – ближе к пику активности, второй – на ветви спада)

[29]. Следовательно, именно в эти периоды больше микроволновый поток из ионосферы и мощнее “шуба”, препятствующая проникновению фагоцитов через клеточную мембрану и распознаванию ими артритных эффектов в суставной жидкости.

Итак, гипотеза о возможной роли микроволнового излучения земной ионосферы, возмущённой солнечными вспышками и магнитными бурями, в контроле состояния живого организма не противоречит количественным оценкам. Вклад микроволн в создание водосодержащих ассоциатов заключается в изменении (увеличении) орбитального углового момента нейтрализующего электрона на ридберговской орбитали атомно-молекулярного комплексного положительного иона. Приведённая схема воздействия микроволн на живой организм даёт возможность использовать её в медицинских целях. При этом требуемые уровни потока радиоизлучения, соответствующие естественным уровням во время магнитной бури [26], даже меньше, чем собственное излучение организма человека в СВЧ-диапазоне ( $10^{-11}$  Вт/см<sup>2</sup> × ГГц [30]). Такое воздействие, заведомо неспособное причинить вред живому организму, может быть избирательным благодаря подбору частоты искусственного СВЧ-излучателя. Тем самым решается одна из основополагающих проблем медицинского вмешательства – таргетность применяемого воздействия.

\* \* \*

Известно, что во время вспышек на Солнце и магнитных бурь возмущённая ионосфера является источником микроволн, промодулированных по амплитуде на частотах резонансов Шумана и Альфвена. В нижней атмосфере растёт число кластеров из молекул воды, в крови человека увеличивается агрегатоспособность эритроцитов. Процессы воздействия СВЧ-излучения на кластерообразование из паров воды и в жидкой воде способны кардинально менять радиационный баланс атмосферы и свойства жидкостей в живом организме. Основную роль при поглощении микроволн играет возбуждение (в состояние с более высоким орбитальным угловым моментом  $l$ ) обязательного участника диссоциативно-ассоциативного механизма – нейтрализующего ридберговского электрона.

В последние десятилетия резко увеличился вклад микроволнового излучения техногенного происхождения (УВЧ, СВЧ, КВЧ с длинами волн от 10 дм до 1 мм). Данный диапазон активно используется в мобильной радиосвязи. Следует отметить, что в случае радиосвязи возможна существенная роль стохастического резонанса – кооперативного эффекта, при котором энергия шума, распределённая по широкому спектру, перекачивается в выходную энергию на частоте сигнала [31]. В периоды

вспышек на Солнце и геомагнитных бурь энергия в потоке микроволн, генерируемых возмущённой ионосферой, достигает максимальных значений. Тогда же следует ожидать, например, максимально негативного влияния сотовой телефонии, в частности на человеческий мозг.

Задачей представленного исследования являлось рассмотрение возможных каналов участия микроволнового спектра радиочастот в формировании погодно-климатической обстановки окружающей среды. Помимо интерпретации солнечно-биосферных эффектов, было предложено количественно оценить влияние потока микроволнового излучения земной ионосферы в периоды мировых магнитных бурь и вспышек на Солнце на жидкость (воду) в живом организме. Основным каналом солнечно-геомагнитного воздействия во всех рассматриваемых случаях является возрастание степени кластеризации (ассоциации) молекул воды (как в тропосфере, так и в живом организме).

Развиваемый подход, названный супрамолекулярной физикой, позволит понять механизм сравнительно слабых воздействий, включая солнечные и антропогенные, на биосферу и окружающую среду, в том числе на погодно-климатические характеристики. Микроволновое излучение ионосферы в процессе индуцированного поглощения ридберговски возбуждённым электроном увеличивает его орбитальный момент, что приводит к снижению скорости диссоциативной рекомбинации кластерных ионов в тропосфере и скорости их распада, способствуя тем самым стабилизации кластеров. Для молекул с большим сродством к протону также известны процессы ассоциации через промежуточный захват электрона на ридберговскую орбиталь. В этом случае возможно управление степенью стабилизации образующегося ассоциата (в том числе из воды в живом организме) через увеличение орбитального момента электрона.

Была проведена аналогия с подходом супрамолекулярной химии Ж.-М. Лена [3], который обсуждал космическое воздействие на информационный обмен в живом организме, в том числе на окружающую среду. Ныне этой проблемой занимается Европейское научное объединение “Супрамолекулярные системы в химии и биологии”, а также компания SupraChem. Теперь исследования можно будет дополнить с помощью супрамолекулярной физики. Супрамолекулярная физика – это физика за пределами молекулы, в эволюции которой в сложные формы (кластеры, ассоциаты) участвует электромагнитное излучение внешнего происхождения, поглощаемое ридберговски возбуждёнными составляющими молекулярного комплекса с увеличением его стабильности (за счёт возрастания величины орбитального момента ридберговского электрона).

Развитие супрамолекулярной физики позволит лучше понять эффекты слабых воздействий на биосферу и окружающую среду с учётом микроволнового излучения ионосферы и техногенного электромагнитного шума (в том числе передающих устройств мобильной связи), а также заняться целевым воздействием СВЧ-излучения на живой организм, что найдёт применение в медицине

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.В. Экологическая роль электромагнетизма. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2010.
2. Слесарев В.И. Химия: Основы химии живого. Учебник для вузов. СПб.: Химиздат, 2015.
3. Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы. Новосибирск: Наука, 1998; Lehn J.-M. Supramolecular chemistry. Concepts and Perspectives. Weinheim, N.Y., Cambridge: VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1995.
4. Schrijver K. Advancing space weather science to protect society's technological infrastructure: COSPAR roadmap. <http://www.lmsal.com/~schryver/COSPARrm/>
5. Schmidtke G., Avakyan S.V., Berdermann J. et al. Where does the Thermospheric Ionospheric Geospheric Research (TIGER) Program go? // Advances in Space Research. 2015. № 8. P. 1547–1577.
6. Авакян С.В. Микроволновое излучение ионосферы как фактор воздействия солнечных вспышек и геомагнитных бурь на биосферу // Оптический журнал. 2005. № 8. С. 41–48.
7. Avakyan S.V. Microwave ionospheric emission as a new factor of Solar-biosphere relations // Proc. 4<sup>th</sup> Int. Workshop on biological effects of electromagnetic fields, 16–20 Oct., 2006. V. 2. Crete, Greece. P. 1315–1322.
8. Авакян С.В. Физика солнечно-земных связей: результаты, проблемы и новые подходы // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. № 4. С. 435–442.
9. Avakyan S.V. The Role of Solar Activity in Global Warming // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2013. № 3. P. 275–285; Авакян С.В. Роль активности Солнца в глобальном потеплении // Вестник РАН. 2013. № 5. С. 425–436.
10. Авакян С.В. Проблемы климата как задача оптики // Оптический журнал. 2013. № 11. С. 98–105.
11. Avakyan S.V. Galechian G.A. About supramolecular physics of the low atmosphere // Book of Abstracts: International Symposium “Atmospheric radiation and dynamics”. St. Petersburg State University. Russia. 23–26 June 2015. P. 28–29.
12. Авакян С.В. Тропосферная кластеризация паров воды под воздействием микроволнового

- излучения // Материалы IV Всероссийской научной конференции “Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля природной среды” / Под общ. ред. Ю.В. Кулешова. СПб.: Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, 20–21 апреля 2016 г. С. 381–386.
13. *Авакян С.В., Девдариани А.З.* Роль ридберговских состояний и микроволнового излучения в тропосферной кластеризации паров воды // *Оптический журнал.* 2016. № 5. С. 76–78.
  14. *Авакян С.В., Серова А.Е., Воронин Н.А.* Роль ридберговских атомов и молекул в верхней атмосфере // *Геомагнетизм и аэрномия.* 1997. № 3. С. 99–106.
  15. *Bates D.R.* Electron-ion recombination in an ambient molecular gas // *J. Phys. B: Atomic, Molecular Physics.* 1981. № 18. P. 3525–3535.
  16. *Morgan W.L.* Computer experiments on electron-ion recombination in an ambient medium: gases, plasmas and liquids // *Recent studies in atomic and molecular processes* / Ed. by A.E. Kingston. N.Y.-L.: Plenum Press, 1987. P. 149–166.
  17. *Gallas J.A.C., Leuchs G., Wallher H., Figger H.* Rydberg atoms: high-resolution spectroscopy and radiation interaction – Rydberg molecules // *Adv. in Atomic and Molec. Phys.* 1985. V. 20. P. 413–466.
  18. *Dabrowski I., Herzberg G.* The electronic emission spectrum of triatomic hydrogen // *Canad. J. Phys.* 1980. № 8. P. 1238–1249.
  19. *Bonnet R.M.* Spaceship Earth // *Spatium.* 2011. № 26. P. 1–23.
  20. *Ионова В.Г., Сазонова Е.А., Сергиенко Н.П. и др.* Реакция организма человека на гелиогеофизические возмущения // *Биофизика.* 2003. № 2. С. 380–384.
  21. *Ивлев Л.С.* Аэрозольное воздействие на климатические процессы // *Оптика атмосферы и океана.* 2011. № 5. С. 392–410.
  22. *Авакян С.В., Болгарцева М.П., Ефремов А.И. и др.* Потоки электронов во время магнитной бури 14–15 декабря 1970 г. по данным ИСЗ “Космос-381” // *Исследования по геомагнетизму, аэрномии и физике Солнца.* Вып. 32. 1974. С. 158–161.
  23. *Tarr S.M., Schiavone J.A., Freund R.S.* Long-lived high-Rydberg molecules formed by electron impact:  $H_2$ ,  $D_2$ ,  $N_2$  and  $CO$  // *J. Chem. Phys.* 1978. № 5. P. 2869–2878.
  24. *Charged particle and photon interactions with matter* / Eds. A. Mozumder, Y. Hatano. N.Y., Basel: Taylor and Frances Inc., 2004.
  25. *Смирнов Б.М.* Комплексные ионы. М.: Наука, 1983.
  26. *Авакян С.В., Воронин Н.А.* Возможные механизмы влияния гелиогеофизической активности на биосферу и погоду // *Оптический журнал.* 2006. № 4. С. 78–83.
  27. *Халфиева Г.М., Халфиев Н.Г., Тагиров И.С.* Динамика клинко-биохимических реакций у больных ревматоидным артритом в зависимости от геофизических возмущений // *Влияние солнечной активности, климата, погоды на здоровье человека и вопросы метеопрофилактики.* Т. 1 / Под ред. Х.С. Хамитова, М.М. Гимадеева. Казань: КМИ, 1988. С. 111–112.
  28. *Попов В.В., Нутрихина Н.Н., Коровкина Л.В., Палханова Л.В.* Влияние солнечной активности на возникновение ревматоидного артрита // *Влияние солнечной активности, климата, погоды на здоровье человека и вопросы метеопрофилактики.* Т. 1 / Под ред. Х.С. Хамитова, М.М. Гимадеева. Казань: КМИ, 1988. С. 117–118.
  29. *Авакян С.В., Вдовин А.И., Пустарнаков В.Ф.* Ионизирующие и проникающие излучения в околоземном космическом пространстве. СПб.: Гидрометеопиздат, 1994.
  30. *Гуляев Ю.В.* Физические поля и излучение человека: новые методы медицинской диагностики // *Наука и культура. Избранные лекции.* СПб.: БАН, 2009. С. 171–207.
  31. *Макеев В.М.* Стохастический резонанс и его возможная роль в живой природе // *Биофизика.* 1993. № 1. С. 194–201.

## РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ В РОССИИ В ПЕРИОД ЦАРСТВОВАНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА III

© 2017 г. Ю.В. Кудрина

*Институт всеобщей истории РАН, Москва, Россия*

e-mail: u.v.kudrina@gmail.com

Поступила в редакцию 16.01.2016 г.

С 1881 по 1894 г. Российское государство возглавлял император Александр III. Представления о результатах его правления противоречивы. Для одних это “период реакции”, для других — “эпоха возрождения”. Неоднозначно оценивали Александра Александровича и современники. Сторонники его политики, а это значительная часть элиты русского общества, в рядах которой были известные учёные, общественные и политические деятели, писатели, художники, музыканты, одобряли курс императора на умиротворение России, её экономическое и культурное развитие. В статье представлена панорама научной жизни России последней четверти XIX в., приводятся оценки деятельности императора Александра III, дававшиеся выдающимися отечественными учёными.

**Ключевые слова:** история России, император Александр III, Императорская Российская академия наук, русские учёные и инженеры, съезды русских естествоиспытателей и врачей.

DOI: 10.7868/S0869587317050061

В годы царствования императора Александра III произошёл прорыв в развитии духовных и материальных производительных сил России. Как писал В.И. Вернадский, со второй половины XIX в., особенно в последней его четверти, кривая роста научного творчества в России резко поднялась вверх. Представители русской науки и культуры, общественные и политические деятели определяли роль Александра III в развитии науки и промышленности страны как весьма значительную. Выступая 17 ноября 1894 г. в Петербурге на заседании Отделения химии Русского физико-химического общества, его председатель Д.И. Менделеев отметил: “Мы собрались в первый раз после горестнейшей утраты, постигшей Россию и вызвавшей трогательнейшие

проявления сочувствия во всём мире. Скончался император Александр Александрович, великий поборник мира и мирного преуспеяния нашего Отечества, многое совершивший для процветания наук и промышленности в России” [1, с. 5].

В 80-е годы XIX столетия российское научное сообщество, насчитывавшее к тому времени тысячи исследователей, вступило в период расцвета. В стране возник целый ряд высших учебных заведений. Так, в сентябре 1885 г. был открыт Харьковский политехнический институт. Первым его директором стал известный учёный-механик профессор В.Л. Кирпичёв. В июле 1888 г. состоялось открытие заложенного в 1880 г. Томского университета. Набор студентов производился на следующие факультеты: физический, минералогический, ботанический, общей химии, анатомии, гистологический, общей патологии, фармакологии, судебной медицины, оперативной хирургии. При университете действовали ботанический сад, Зоологический институт, несколько клиник (хирургическая, нервная, офтальмологическая, акушерская, детская, дерматологическая, госпитально-хирургическая, госпитально-терапевтическая), Музей археологии и этнографии, Общество естествоиспытателей и врачей.



КУДРИНА Юлия Викторовна — кандидат исторических наук, старший научный сотрудник ИВИ РАН.



Портрет императора Александра III. 1886 г. Государственный русский музей

*Художник И.Н. Крамской*

К концу XIX в. в России насчитывалось 57 государственных и 11 частных высших учебных заведений, из них 9 университетов. При университетах формировались научные школы, работали научные лаборатории [2]. Общее количество студентов, обучавшихся в вузах, составляло 25 166 человек, из них в университетах – 13 944, в технических и сельскохозяйственных учебных заведениях – 5497; 30,1% студентов изучали естественные и технические науки, 28,2 специализировались в медицине и ветеринарии, 23,8 – в области юридических наук, 6,4 получали образование в духовных академиях, 4 числились студентами историко-филологических отделений, 3,3 обучались в сельскохозяйственных учебных заведениях, 2,5 – в военных академиях, 1,6% – в художественных школах [3].

К моменту вступления на престол Александр Александрович был почётным членом Московского, Казанского, Санкт-Петербургского, Новороссийского университетов, Русского географического, Императорского минералогического и многих других научных обществ, а также почётным членом Российской академии наук. Став императором, он всем им покровительствовал, понимая важность развития отечественной науки.

Правительство Александра III предпринимало меры по созданию системы подготовки университетских профессорских кадров. Автономия университетов, закреплённая в их уставах, предполагала принципы выборности, конкурсного замещения должностей, коллегиального управления. Устное слово, хотя и подвергалось стеснениям, всё же менее сковывалось цензурой, чем печатное. Университеты имели право выписывать любую литературу из Европы, и она не проверялась на таможне. Частью системы обучения стали поездки молодых учёных в европейские страны.

Важную роль в подъёме науки и распространении научных знаний в стране играла Императорская Российская академия наук. С апреля 1882 г. по май 1889 г. её возглавлял граф Д.А. Толстой. 3 мая 1889 г. указом Александра III главой академии был назначен великий князь К.К. Романов – известный поэт, пользовавшийся авторитетом в широких общественных и научных кругах и приходившийся императору двоюродным братом. Высокообразованный человек, в стремительном развитии науки и техники он видел наступление новой эры и, будучи патриотом России, считал, что российская наука должна занять в этом процессе достойное место.

Приток финансовых средств, как государственных, так и частных, для нужд академии значительно вырос. Её бюджет увеличился на 53 563 руб., было изменено штатное расписание, учреждена комиссия по распределению пособий и пенсий между нуждающимися учёными, их вдовами и сиротами, а также литераторами и публицистами. Высокий научный и общественный статус членов академии в немалой степени определялся тем, что многие из них являлись профессорами высших учебных заведений. За лучшие труды присуждались престижные премии Ф.Ф. Брандта, В.Я. Буняковского, К.М. Бэра, Г.П. Гельмерсена, митрополита Макария. Активно работали фонды Демидовской, Уваровской и Пушкинской премий. По инициативе великого князя Константина Константиновича к 200-летию М.В. Ломоносова начались работы по созданию Ломоносовского института. На основе старейшего музея – Кунсткамеры – были сформированы Биологический, Зоологический, Минералогический институты, Музей антропологии и этнографии.

В числе задач, решавшихся академией в те годы, – совершенствование русского языка. Нормы правописания, установленные академиком Я.К. Гротом, действовали вплоть до орфографической реформы 1918 г. В Отделение русского языка и словесности академии наук наряду с лингвистами входили крупные русские писатели и поэты: П.А. Вяземский, И.А. Гончаров, Ф.М. Достоевский, А.Н. Майков, И.С. Тургенев, А.Н. Островский, А.К. Толстой,

Ф.И. Тютчев, А.А. Фет, А.С. Хомяков и другие. Позднее при этом отделении был создан Разряд изящной словесности, занимавшийся составлением Словаря русского языка и аннотированным изданием произведений русских писателей. Академия наук издавала свою периодику: ежемесячные “Известия Академии наук”, “Известия сейсмической комиссии”, а также выходившие раз в год или в полтора года “Записки Академии наук”.

Одно из важных явлений академической жизни – пополнение рядов академиков и членов-корреспондентов из числа лучших университетских профессоров и исследователей. За 25 лет в состав Академии наук были избраны 68 новых членов, многие из которых имели мировую известность. В 1889 г. впервые в истории науки членом-корреспондентом избрали женщину-учёного – математика С.В. Ковалевскую. А вот великий русский учёный Д.И. Менделеев академиком не стал: автор знаменитой Периодической системы химических элементов, с 1876 г. член-корреспондент Петербургской академии наук по физико-математическому отделению, при голосовании в 1880 г. был забаллотирован [4]. В знак протеста и моральной поддержки учёного ведущие российские университеты избрали его своим почётным членом. Из дневника президента Академии наук великого князя К.К. Романова: “В заседании физико-химического отделения академик Овсянников прочёл записку об учёных трудах профессора Александра Онуфриевича Ковалевского (А.О. Ковалевский – известный учёный, основатель эволюционной палеонтологии. – Ю.К.). Удалось-таки провести Ковалевского, это победа. Одним русским будет больше, а там при счастья проведу и Менделеева” [5, с. 192]. Министр финансов С.Ю. Витте в письме К.К. Романову по вопросу неизбрания в состав академии Д.И. Менделеева, представлявшего собой, по его словам, тип удивительного русского учёного, писал: “Будь он француз, немец, англичанин, он уже давно был бы членом высшего учёного национального учреждения. Его имя известно всему миру... Нет человека без греха. Но я знаю также, что всегда наступит момент, когда высшие чувства, высшие помыслы отодвигают низшие и воздаётся дань справедливости каждому по его заслугам. Но наступит ли этот момент для старика Дмитрия Ивановича Менделеева?” [5, с. 193]. В 1893 г. Витте назначил Менделеева управляющим Главной палатой мер и весов Министерства финансов, учреждённой по инициативе учёного. А все старания президента Академии наук провести его в академики оказались тщетны: Менделеев до конца своих дней так и остался в звании члена-корреспондента.

Составом избираемых в академию учёных интересовался и император Александр III. Он недвусмысленно давал понять своему брату, что

необходимо как можно скорее покончить с засылем иностранцев. Благодаря содействию императора известный астроном Ф.А. Бредихин в марте 1890 г. стал директором Пулковской обсерватории. Историк В.О. Ключевский в речи на смерть Александра III особо подчеркнул, что тот “поощрял и ободрял учёные общества, будил и поддерживал энергию отдельных исследователей” [6, с. 5]. Социально-экономические изменения в жизни Российского государства во второй половине XIX в. способствовали прогрессу во всех областях науки, в частности в медицинской. В стране началось строительство новых больниц современного типа, модернизировались старые, увеличивалось количество врачей и среднего медицинского персонала. Одним из первых “высочайших указов” император образовал государственную комиссию под председательством глубоко чтимого им С.П. Боткина для разработки программы “организации мер к повсеместному оздоровлению в России”. Предполагалось проведение широких мероприятий в санитарно-эпидемиологической области [7].

Большие изменения произошли в психиатрии. В бытность цесаревичем Александр Александрович обратил внимание своего отца, императора Александра II, на недостаточное внимание к больным, страдающим психическими расстройствами. При посещении полицейских домов цесаревич стал свидетелем удручающего содержания находившихся там умалишённых. В рескрипте, представленном им царю 26 февраля 1870 г., говорилось: “Недостаток у нас в больничных учреждениях не подлежит сомнению. Но он особенно чувствуется в отношении мест призрения умалишённых, и этот последний недостаток поистине прискорбен. В одном только Петербурге многие десятки и даже сотни людей, представляющих свежие случаи помешательства, а потом при хорошем пользовании по большей части излечимые, теперь содержатся при полицейских частях, между арестантами и пьяницами, вовсе без лечения и даже почти без призрения. Я не мог не принять к сердцу участи этих многих несчастных, которые навсегда погибают и для себя, и для своей страны. Желая прийти к ним на помощь, испрашиваю соизволения Вашего Императорского Величества на устройство особого приюта для неизлечимо помешанных, который, принимая из существующих больниц не подающих надежды на исцеление, открывал бы доступ в них тем, кому лечение полезно и необходимо” [8, с. 211]. В октябре 1871 г. по инициативе цесаревича вблизи Петербурга был открыт приют для душевнобольных, ставший одним из первых рационально устроенных психиатрических учреждений. Постройки перемежались в нём с садами и огородами. Подобный тип лечебницы исключал заключение

больных в четырёх стенах, прежде характерное для подобных заведений.

О прогрессе в психиатрии и невропатологии в России в годы царствования Александра III свидетельствовал выход в свет большого количества научных работ, издание трёх специализированных журналов. Благотворительность императора, частных лиц, правительства и земств способствовала улучшению в деле призрения душевнобольных. Если в 1882 г. число призревавшихся составляло приблизительно 15 600 человек, то в 1891 г. оно возросло до 28 000, а в 1894 г. превысило 33 000 человек.

Успехи наблюдались и в других областях медицины. Тон задавали университетские клиники, возглавлявшиеся выдающимися учёными, такими как хирург Н.В. Склифосовский, детский врач Н.Ф. Филатов, терапевт А.А. Остроумов, гигиенист Ф.Ф. Эрисман, физиолог И.М. Сеченов. Их имена носят современные клиники и институты.

Побывавший в бытность цесаревичем на фронтах русско-турецкой войны Александр III понял необходимость развития военной медицины. В годы его царствования значительно переоснастились военные госпитали и лазареты, улучшилась подготовка фельдшеров и врачей, стремительно росло число общин сестёр милосердия Красного Креста. В 1885 г. лейб-медиком Н.А. Вельяминовым был основан “Хирургический вестник” – первый в России журнал по хирургии, позднее получивший название “Русский хирургический архив”, а затем переименованный в “Хирургический архив Вельяминова” [9]. Об отношении Александра III к науке и учёным говорит и такой факт. Когда в июне 1887 г. в Париже готовилось открытие Института Пастера, средства для его учреждения в сумме 2 586 680 франков удалось собрать по международной подписке; 100 тыс. франков внёс император Александр III. В знак признания заслуг учёного Луи Пастеру был пожалован русский орден Святой Анны I степени.

В 1890 г. в Санкт-Петербурге открылся Институт экспериментальной медицины. Инициатива его создания принадлежала троюродному брату Александра III – принцу А.П. Ольденбургскому [10]. Царским распоряжением институт был “принят в казну”. В состав его сотрудников вошли И.П. Павлов, Н.В. Усков, М.В. Ненцкий, С.Н. Виноградов, К.Я. Гельман и другие талантливые исследователи [11]. Вскоре последовал императорский рескрипт об учреждении на казённые деньги ещё ряда институтов и бактериологических лабораторий в российских городах.

Благотворительная деятельность в годы правления Александра III приобрела такой размах, что некоторые богатые люди жертвовали на развитие медицинской науки целые состояния. На деньги частных лиц в тот период и позднее были созданы Клинический институт великой княжны Елены

Павловны в Санкт-Петербурге, Химико-бактериологический институт доктора Ф.М. Блюменталья, Институт доктора Н.И. Власьевского в Москве [12].

Дальнейшее развитие получила практика созыва съездов русских естествоиспытателей и врачей, начало которым было положено в 1867 г. Например, в работе VIII съезда, проходившего в Санкт-Петербурге с 28 декабря 1889 г. по 7 января 1890 г., участвовало более 2 тыс. учёных и специалистов, являвших собой цвет российского естествознания, медицины и гигиены. Делегацию участников съезда, в состав которой входили пять членов распорядительного комитета – А.Н. Бекетов (председатель съезда), А.Г. Столетов и Н.В. Склифосовский (товарищи председателя), Д.И. Менделеев (редактор трудов съезда), В.В. Докучаев (секретарь съезда) – по окончании съезда принял император Александр III. В продолжительной беседе он подробно расспрашивал их о научной и педагогической деятельности, рассматривавшихся на съезде вопросах. В отчёте об этой встрече В.В. Докучаев писал: “... Государю угодно было заметить, что, судя по многолюдству и обилию учёных сообщений и предложений, сделанных на съезде, вероятно, придётся для разработки поднятых вопросов многое закончить после съезда, так как в короткое время нельзя рассмотреть многие доклады и предложения. Прощаясь, Государю Императору снова угодно было выразить Своё благоволение представителям съезда. Такой необыкновенно милостивый приём тронул до глубины души каждого из представляющихся, показал, сколь близки сердцу Монарха наука и её приложения на пользу Отечества” [13, с. 36].

Девятый, последний при жизни Александра III, съезд естествоиспытателей и врачей проходил в Москве в январе 1894 г. В его работе участвовали 2170, а выступили 395 человек. Председательствовавший на съезде К.А. Тимирязев в своей речи, прочитанной на общем заседании, отметил: “Лобачевские, Зинины, Ценковские, Бутлеровы, Пироговы, Боткины, Менделеевы, Сеченовы, Столетовы, Ковалевские, Мечниковы – вот те русские люди, повторяю, после художников слова, которые в области мысли стяжали русскому имени прочную славу за пределами Отечества... Движение русской научной мысли было не равномерное, а ускорительное; что ближайший к нам период, начиная с шестидесятых годов, этой нашей русской эпохи возрождения, отмечен небывалым, внезапным подъёмом русской мысли в области точного знания... Значит, в этих областях русские учёные не только догоняют, но и уже поравнялись, а порой ведут за собой своих европейских собратьев, гораздо раньше их вышедших на работу... Значит, в этих областях, в математике и естествознании, русский ум доказал свою равноправность, свою полную зрелость” [14, с. 5]. По мнению К.А. Тимирязева,

“двигательную силу науки”, источник её развития следовало искать “не в сфере идей, а в сфере вещей, в сфере материальных отношений между людьми” и в той исторической обстановке, которая сложилась в России к 60-м годам XIX в. [15, с. 23].

Получив при вступлении на престол звание покровителя Русского географического общества, Александр III оказывал ему всяческую помощь. Экспедициям Н.М. Пржевальского, Г.Н. Потанина, В.И. Роборовского, Н.Н. Миклухо-Маклая были выделены необходимые для их организации и проведения денежные средства. Путешествия в Сибирь, Монголию, Китай, Тянь-Шань дали бесценный этнографический материал о тюркских и монгольских племенах, тангутах, китайцах и других народах. Большие научные результаты принесли экспедиции И.Д. Черского в Восточную Сибирь. Важные научные сведения удалось собрать и в ходе полярных экспедиций барона Э.В. Толля, готовившихся при поддержке Академии наук. По возвращении многие из участников этих экспедиций принимались в Аничковом дворце и Гатчине, где государь вместе с государыней Марией Фёдоровной слушали рассказы учёных-путешественников, ценя в них непосредственность и яркость впечатлений.

Уделяя большое внимание возрождению исторических национальных традиций, император считал, что “знание великих подвигов воинской доблести, образы великих людей и славных дел каждого исторического события есть двигатель нравственного влияния” [16, с. 116]. В 1886 г. по его повелению в Тарту был воздвигнут памятник русскому естествоиспытателю, основоположнику эмбриологии К.М. Бэру (скульптор А.М. Опекушин). В 1892 г. в Санкт-Петербурге по указанию императора установлен памятник русскому путешественнику Н.М. Пржевальскому (автор проекта А.А. Бильдерлинг, скульптор И.Н. Шрёдер). Годом позже памятник Пржевальскому был установлен на берегу Исык-Куля.

Несомненные успехи наблюдались в развитии геологии. В январе 1882 г. был создан Геологический комитет – первое в России государственное геологическое учреждение [17]. В феврале 1885 г. Министерство государственных имуществ обратилось к Александру III с докладом по поводу назначения председателем Геологического комитета А.П. Карпинского [18], и “соизволение” государя последовало незамедлительно. Под руководством Карпинского началось систематическое геологическое картирование России. Первым разработчиком систематики минералов был В.М. Севергин, автор фундаментального труда по топоминералогии России. Е.С. Фёдоров заложил основы современной структурной кристаллографии, Г.П. Гельмерсен составил первую геологическую карту Европейской части страны, Б.Б. Голицын создал основы сейсмометрии. Трудом В.И. Вернадского

были заложены основы геохимии, а позднее – радиохимии и радиогеологии. Выдающихся результатов достигла математическая школа во главе с П.Л. Чебышевым, созданная при Петербургском университете [19]. А.Н. Коркин, Е.И. Золотарёв, А.А. Марков, А.М. Ляпунов, В.А. Стеклов – яркие её представители. Об успехах в области химии можно судить по работам А.М. Бултерова – создателя теории химического строения органических веществ и Д.И. Менделеева – автора Периодической системы химических элементов. Талантливые учёные трудились и в области биологии. В 1890 г. А.С. Фаминцын, создатель эволюционной физиологии растений и автор гипотезы симбиогенеза, организовал лабораторию анатомии и физиологии растений. Биолог А.О. Ковалевский, основатель эволюционной эмбриологии, в 1894 г. создал зоологическую лабораторию по исследованию развития беспозвоночных. В 1892 г. в Московском университете был проведён Международный конгресс зоологов, в работе которого принял участие известный немецкий учёный Р. Вирхов.

Неурожай 1891 г. заставил учёный мир России по-новому взглянуть на вопрос повышения культуры земледелия. Д.И. Менделеев в “Заветных мыслях” писал по этому поводу: “Единственный способ, которым многие государства Европы избавились от бедствий возобновляющихся голодовок и достигли быстрого роста благосостояния жителей, состоит именно в доставлении – на развивающихся разнородных видах промышленности и торговли – средств для правильного движения вперёд на пути преуспевания, а об этом самом и стали более и деятельнее всего заботиться именно в последние десятилетия, благодаря настойчивости родителя (речь идёт об Александре III. – Ю.К.) ныне царствующего Императора” [20, с. 213].

Создавались новые учёные комиссии – сейсмическая, водомерная и др. Как самостоятельное учреждение оформилось Главное гидрографическое управление Морского министерства. В 1881 г. была основана Астрономическая обсерватория Петербургского университета. На личные средства президента Императорской Российской академии наук великого князя Константина Константиновича построена Одесская обсерватория. Академик Ф.А. Бредихин, являвшийся главой московской астрофизической школы (ему принадлежала разработка первой механической теории движения вещества в хвостах комет и теория происхождения метеорных потоков в результате распада ядра кометы), став в 1890 г. во главе Пулковской обсерватории, умело координировал проводившиеся в ней наблюдения с работой университетских обсерваторий.

Русские учёные и инженеры-конструкторы успешно осваивали новые области науки и техники. В 1882 г. изобретатель Н.Н. Бенардос разработал и применил

на практике электрическую дугу для сварки металлов. Капитан 1 ранга А.Ф. Можайский в том же году испытал в Красном Селе “воздушный снаряд” — моноплан. В статье “Аэроплан, или птицеподобная (авиационная) летательная машина”, опубликованной в 1894 г., К.Э. Циолковский рассказал о своих исследованиях в области аэронавтики. Инженер П.М. Голубицкий изобрёл высокочувствительный телефон и создал первый настольный телефонный аппарат. Выдающиеся научные работы провели физик А.Г. Столетов, механик Н.Е. Жуковский.

Придавая большое значение укреплению обороноспособности России, император Александр III поддерживал инновации в области военно-инженерного искусства. В конце 70-х годов XIX в. русский инженер С.К. Дзевецкий разработал проект подводной лодки. Она была построена на Невском заводе в Санкт-Петербурге. Когда военно-инженерное ведомство сообщило Александру Александровичу о работе инженера, он изъявил желание провести осмотр подводной лодки на Гатчинском озере, отличавшемся особой прозрачностью воды. В дневнике Александра III за 1880 г. (тогда он был цесаревичем) можно найти следующую запись: “В Гатчине мы смотрели подводную лодку инженера Дзевецкого, который при нас сделал несколько удачных опытов со своей лодкой и кончил тем, что подвёл мину под плот и, отойдя, взорвал её отлично. Эта лодка, я уверен, будет иметь большое значение в будущем и сделает порядочный переполох в морских сражениях” [21, с. 347]. Позднее Александр III распорядился построить 50 подводных лодок для обороны приморских областей. В мае 1886 г. во время инспекционной поездки в Севастополь император присутствовал на испытании подводной лодки. По свидетельству очевидца, “Государь внимательно относился ко всему осматриваемому, задавал много весьма серьёзных вопросов и своим спокойствием и простотой производил на всех чудесное впечатление” [22, с. 73].

С царствования Александра III начался новый этап в истории России: для одних — “период реакции”, для других — “эпоха возрождения”. «Люди, прожившие царствование Императора Александра III, — писал Д.И. Менделеев в “Заветных мыслях”, — ясно сознавали, что тогда наступила известная степень сдержанной сосредоточенности и собирания сил, направляемых к простой, обыденной внутренней деятельности» [20, с. 208]. По мнению учёного, “все виды и формы прогресса как государственных улучшений (равно как и ухудшений) не только мыслимы, но и осуществлялись как при монархических, так и при республиканских складах” [20, с. 327]. “Идеалисты и материалисты, — писал Менделеев, — видят возможность перемен лишь в революциях, а реализм признаёт, что действительные перемены совершаются только постепенно, путём эволюционным” [20, с. 5].

Сторонники политики Александра III, значительная часть элиты русского общества, в рядах которой были известные учёные, общественные и политические деятели, писатели, художники, музыканты, одобряли курс императора на умиротворение России, её экономическое и культурное развитие.

Корректировка преобразований 1860—1870-х годов сопровождалась рядом пусть не таких эффективных, как “Великие реформы”, но чрезвычайно важных социальных и экономических преобразований, способствовавших адаптации российского общества к ставшему уже необратимым процессу его капиталистической эволюции. Наиболее важные среди них:

- финансовая стабилизация (ликвидация дефицитов и дорогих иностранных займов, превышения государственных расходов над доходами и др.);
- поддержка крестьянства (отмена подушной подати, уменьшение выкупных платежей, учреждение Крестьянского земельного банка, увеличение площади крестьянского землевладения, установление неотчуждаемости крестьянских наделов, расселение крестьян на новых территориях);
- учреждение особого Министерства земледелия, объединённого с заведованием государственным имуществом;
- основание Дворянского земельного банка для поддержки помещичьего хозяйства;
- учреждение податной инспекции;
- ограничение труда женщин и детей на фабриках и заводах, положившее начало трудовому законодательству (оно опередило западноевропейское);
- природоохранное законодательство (законы об охране лесов, вод, рыбных запасов и др.).

Не единственным, но важнейшим условием прорыва в развитии духовных и материальных производительных сил России стало привлечение к активному государственному творчеству учёных. “Ни до, ни после царствования Александра III в истории России не достигалось такого внушительного по масштабности и органического соединения высших структур государства с видными представителями научного сообщества: экономистами, финансистами, аграриями, статистиками, историками, правоведами, натуралистами, техниками, математиками, входившими в состав Государственного совета, министерств, департаментов, различных комиссий и комитетов (становившимися во главе их)” [23]. Среди них были Д.И. Менделеев, П.П. Семёнов (Тян-Шанский), А.Н. Бекетов, В.В. Докучаев, А.Г. Столетов, С.О. Макаров, В.О. Ковалевский, Н.Х. Бунге, И.А. Вышеградский, С.Ю. Витте, К.П. Победоносцев, И.С. Блюх, Н.А. Неклюдов и многие-многие другие. Это была внушительная команда высокоодарённых людей,

горячих патриотов своей Родины, которая стала проводить в жизнь большие преобразования в области культуры, науки, техники, экономики и финансов, нацеленных на быстрое капиталистическое развитие страны. Все эти люди были воодушевлены единой идеей служения на благо России, её возвышения и процветания. По словам А.Н. Бекетова, “усердное служение науке составляло службу Царю и Отечеству”.

Наука в те годы стала общественным институтом и была включена в мирный эволюционный процесс созидания и творчества без ломки, без революционных катаклизмов и переворотов, что дало впечатляющие результаты. Заслуга императора Александра III состояла в том, что он, как писал Л.А. Тихомиров (бывший народоволец и автор книги “Монархическая государственность”), сумел “не только парализовать вредные стороны пореформенного положения, но даже вызвать подъём национального духа и творчества... При Александре III вспыхнуло национальное чувство, которое указывало прогресс и благо в укреплении и развитии этих исторических основ” [24, с. 105].

Политика Александра III сводилась к сохранению и развитию культурных и исторических традиций России. Известный политический деятель С.Ю. Витте в воспоминаниях, написанных после смерти императора, даёт ему следующую оценку: “Большое несчастье, что он (Александр III. – Ю.К.) процарствовал так мало, всего 13 лет; но в эти 13 лет фигура его как императора совершенно обрисовалась и выросла. Это почувствовала вся Россия и вся заграница в день его смерти. Но императора Александра III его современники и ближайшие поколения далеко не оценили, и большинство относится к его царствованию скептически. Это в высокой степени несправедливо” [25, с. 120].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Из протокола заседания Отделения химии РФХО. Санкт-Петербург, 17 февраля 1894 г. (*Менделеев Д.И.* Речь председателя на заседании отделения химии Русского физико-химического общества в Петербурге. СПб., 1894).
2. *Герье В.И.* Свет и тени университетского быта // Вестник Европы. 1876. № 2. С. 646–647.
3. *Толмачёв Е.П.* Александр III и его время. М.: Терра-Книжный клуб, 2007.
4. *Дмитриев И.С.* Скучная история о неизбрании Д.И. Менделеева в Императорскую академию наук в 1880 г. // Вопросы истории естествознания и техники. 2002. № 2. С. 231–281.
5. *Матонина Э.Е., Говорушко Э.Л.* К.Р. М.: Молодая гвардия, 2009.
6. Памяти в Бозе почившего Государя Императора Александра III. Речь, произнесённая в заседании Императорского общества истории и древностей российских при Московском университете 28 октября 1894 г. председателем Общества В.О. Ключевским. М.: Университетская типография, 1894.
7. *Молин Ю.* Романовы. Давно забытые черты. СПб.: Logos, 2009.
8. *Кудрина Ю.В.* С высоты престола. М.: Русский Мир, 2013.
9. Воспоминания Н.А. Вельяминова об Императоре Александре III // Российский архив. 1994. Вып 5. С. 276–280.
10. *Анненкова Э.А., Голиков Ю.П.* Русские Ольденбургские и их дворцы. СПб.: Алмаз, 1997.
11. Первый в России исследовательский центр в области биологии и медицины. К 100-летию Института экспериментальной медицины. Л.: Наука, 1990.
12. *Шноль С.Э.* Герои, злодеи, конформисты отечественной науки. М.: Книжный дом “Либроком”, 2010.
13. Протоколы VIII Съезда русских естествоиспытателей и врачей. 29 декабря 1889 – 7 января 1890. Отчёт секретаря VIII Съезда В.В. Докучаева. СПб., 1890.
14. Праздник русской науки. Речь К.А. Тимирязева, прочитанная на первом общем заседании IX Съезда русских естествоиспытателей и врачей в Москве. М.: Типография Э. Лисснера и Ю. Ромина, 1894.
15. *Кедров Б.М.* Мировая наука и Менделеев. М.: Наука, 1983.
16. К жизнеописанию императора Александра III // Нива. 1894. № 48.
17. *Романовский С.И.* История организации в России государственной геологической службы // Вопросы истории естествознания и техники. 1981. № 3. С. 115–122.
18. *Романовский С.И.* Александр Петрович Карпинский. Л.: Наука, 1981.
19. *Киселёв А.А., Ожигова Е.П.* П.Л. Чебышев на съездах русских естествоиспытателей и врачей // Историко-математические исследования. 1963. Вып. 15. С. 290–317.
20. *Менделеев Д.И.* Заветные мысли. М.: Мысль, 1995.
21. Дневник наследника цесаревича Александра Александровича. 23 января – 4 февраля 1880 г. // Русский архив. История Отечества в свидетельствах и документах. XVIII–XIX вв. Альманах. М.: Студия ТРИТЭ, 1995. Т. VI.
22. *Воронихин В.В.* Исторический календарь царствования Александра III. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2001.
23. *Мочалов И.И.* Предпоследний император Александр III и русские учёные // Независимая газета. 1994. 28 октября.
24. *Тихомиров Л.А.* Монархическая государственность. М.: ГУП “Облиздат”, ТОО “Алир”, 1998.
25. *Витте С.Ю.* Избранные воспоминания. М.: Мысль, 1991.

---

---

ЭТЮДЫ  
ОБ УЧЁНЫХ

---

---

## ИСТИННЫЙ АРИСТОКРАТ В НАУКЕ И ЖИЗНИ

К 200-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Н.И. ЖЕЛЕЗНОВА

© 2017 г. В.М. Баутин

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия  
e-mail: vmbautin@rgau-msha.ru

Поступила в редакцию 19.09.2016 г.

В статье освещается жизненный и творческий путь первого директора Петровской земледельческой и лесной академии академика Н.И. Железнова. Отмечена его роль в становлении первого отраслевого специализированного высшего аграрного учебного заведения России. Многие заложенные им принципы в аграрном образовании актуальны и востребованы в наши дни. Речь идёт о междисциплинарности и интеграции исследований, сочетании теоретической подготовки и практических занятий, комплексности в изучении взаимосвязей научных исследований и экономической целесообразности.

**Ключевые слова:** Тимирязевская академия, Н.И. Железнов, учёный-естествоиспытатель, эмбриология, физиология растений, мелиорация, садоводство, метеорология, лесоводство, междисциплинарность, знания, образование.

DOI: 10.7868/S0869587317050073

Николай Иванович Железнов – академик Императорской Санкт-Петербургской академии наук с 1857 г., выдающийся учёный-естествоиспытатель, видный деятель сельскохозяйственной науки, носитель передовых идей, патриот России, продолжатель славных традиций, заложенных в этой области знаменитыми М.В. Ломоносовым, А.Т. Болотовым, И.И. Коновым. Многие его идеи актуальны и по сей день.

Область его научных интересов была достаточно широка: ботаника, эмбриология, физиология растений, селекция, мелиорация, плодоводство, метеорология, агротехника, ландшафтоведение, экономика, право и др. Это был высокообразованный исследователь, прекрасно владевший несколькими иностранными языками и техникой быстрого чтения. Но самое главное, Н.И. Железнов проложил новые пути в сельскохозяйственной науке и образовании, став основателем первого российского высшего сельскохозяйственного учебного заведения – Петровской земледельческой и лесной академии [1].



Н.И. Железнов

*Рисунок А.Г. Розенберга*

---

БАУТИН Владимир Моисеевич – академик РАН, профессор РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, вице-президент Российского общественного объединения экономистов-аграрников.

Н.И. Железнов родился в Санкт-Петербурге 16 октября (по ст. ст.) 1816 г. в семье потомственного дворянина И.Г. Железнова, который дослужился до вице-губернатора Санкт-Петербурга, а затем – до

генерал-провиантмейстера Военного министерства. Мать — Е.М. Леман — потомственная дворянка. Семья Железновых — это талантливые люди, оставившие заметный след в науке, искусстве, истории русского Военно-морского флота. Один брат — Михаил Иванович — был одарённым художником-портретистом, учеником К.П. Брюллова, почётным членом Миланской академии художеств, второй — Григорий Иванович — талантливым моряком, адъютантом вице-адмирала В.А. Корнилова, который героически погиб в первые дни Крымской войны. У Николая Ивановича было и четыре сестры — Екатерина, Мария, Александра и Надежда.

Начальное образование Н.И. Железнов получил дома. В раннем возрасте он уже владел тремя иностранными языками. В 1827 г. в 11 лет был отдан в Горный кадетский корпус, который считался одним из лучших учебных заведений Санкт-Петербурга (кстати, это же учебное заведение заканчивал и его отец). Полный учебный курс продолжался восемь лет. В перечень обязательных предметов входили: латинский, французский, английский, немецкий языки, всеобщая и российская история, география, логика, зоология, ботаника, минералогия, физика, химия, математика, черчение, архитектура.

#### **Выбор научных интересов и жизненных позиций.**

В мае 1834 г., когда до окончания полного курса Горного кадетского корпуса оставался ещё год, 18-летний Железнов покинул кадетский корпус с целью продолжения образования в Императорском Санкт-Петербургском университете на физико-математическом факультете. Юноша очень любил природу, поэтому решил изучать естественные науки. Санкт-Петербургский университет в то время считался центром научной и учебной деятельности страны. В числе учителей Железнова были выдающиеся педагоги Н.П. Щеглов, Д.И. Соколов, С.С. Куторга, С.М. Усов, которые сумели пробудить в талантливом студенте любовь к науке, тягу к знаниям, стремление к творчеству. Из всех преподавателей университета наибольшим авторитетом у студенческой молодёжи пользовался С.С. Куторга, который сыграл немаловажную роль в становлении Железнова как учёного.

С основами сельского хозяйства и лесоводства Н.И. Железнов познакомился на лекциях заведующего кафедрой сельского хозяйства профессора С.М. Усова, первого в России магистра агрономии, крупного учёного и общественного деятеля. Железнов блестяще учился по всем предметам, но самым любимым из них была ботаника. В летнее время его часто можно было встретить на Аптекарском острове, где он помогал заготавливать лекарственные растения. Его увлечениями были создание коллекций насекомых и различных гербариев, подготовка

препаратов для микроскопических исследований, рисование животных с натуры. Многие научные работы Железнова проиллюстрированы его собственными рисунками, различными графиками, диаграммами. В 1837 г. совместно с К.Ф. Кесслером он совершил первое научное путешествие, целью которого было изучение природных ресурсов Финляндии. С Кесслером, впоследствии крупным учёным-зоологом, у Железнова со студенческой скамьи завязалась тесная дружба, продолжавшаяся всю жизнь, что стало важным фактором успеха их научной и организационной деятельности.

По окончании в 1838 г. Санкт-Петербургского университета Н.И. Железнов выразил желание заняться преподавательской деятельностью. Но вакантных мест в университетах России не оказалось. Он эпизодически читал лекции в различных учебных заведениях или обществах, однако постоянного места работы не находил. Благодаря сложившимся обстоятельствам Железнов пришёл к выводу, что ему необходимо заняться исследовательской работой по ботанике. Его очень заинтересовали споры и дискуссии о возникновении зародыша у растений, которые велись среди западноевропейских естествоиспытателей.

Объектом исследований Н.И. Железнов избрал комнатное растение традесканцию, результаты изложил в работе “О развитии цветка и яичка в растении *Tradescantia virginica* L.”, которая была опубликована в 1840 г. Получив положительные отзывы, Железнов представил свой первый научный труд в Санкт-Петербургский университет в качестве диссертации на соискание степени магистра философии. В противоположность многим тогдашним научным воззрениям российских и зарубежных естествоиспытателей Железнов ближе всех подошёл к идее о единстве происхождения растительного и животного мира. Он утверждал, что “образовательные процессы одинаковы как в растительном, так и в животном царстве”. Изложение было иллюстрировано прекрасными собственными рисунками. Данный труд был высоко оценён, и соискатель получил степень магистра философии.

В 1842 г. вышло в свет второе исследование Н.И. Железнова “О происхождении зародыша и теориях происхождения растений”, которое было представлено в Санкт-Петербургский университет в качестве диссертации на соискание степени доктора философии. Защита состоялась 9 июня 1842 г., оппонировали С.С. Куторга и И.О. Шиховский. Решением учёного совета университета Н.И. Железнов был удостоен учёной степени доктора философии. Обе диссертационные работы отличались обилием новых фактических данных, исключительной тщательностью и объективностью. Известный русский ботаник А.Н. Бекетов так охарактеризовал

их: “Этого довольно, чтобы имя учёного осталось навсегда записанным в летописи науки, и нет ничего удивительного... что в европейской научной литературе Железнова называют участником в придании науке того могучего движения, которое она получила со времён Шлейдена, ибо с этих пор началась новая эра для ботаники” [2].

В своей заинтересованности в масштабных исследованиях природы Н.И. Железнов был предшественником великого исследователя XX в. Н.И. Вавилова. Ещё до получения научных званий, в 1838 г. Железнов был включён в исследовательскую экспедицию, но она была внезапно отменена. В 1841 г. ему стало известно, что Министерство народного просвещения разработало и готово осуществить проект чтения публичных лекций по сельскому хозяйству поочерёдно в главнейших губернских городах России. Это масштабное мероприятие должно было служить определённой цели – развитию отечественной экономики путём популяризации сельскохозяйственных знаний. К чтению лекций предполагалось привлечь группу способных молодых людей, прошедших предварительную научную подготовку. В её план включалась командировка за границу, в наиболее развитые в сельскохозяйственном отношении страны, для ознакомления с состоянием их земледелия, животноводства и лесоводства. Этот проект заинтересовал Железнова, и он сообщил о своём желании принять участие в нём попечителю Петербургского учебного округа, был допущен к конкурсу претендентов и прошёл его. Вскоре последовало утверждение его кандидатуры со стороны Министерства народного просвещения.

В июне 1842 г. начался новый этап в жизни учёного – познавательно-экспедиционный. Он продолжался три года. Железнов побывал в Англии, Дании, Бельгии, Германии, Голландии, Франции, Швейцарии, Швеции, где ознакомился с состоянием сельского хозяйства. Он собрал информацию о методах выращивания культурных растений, их ассортименте, изучал земледелие в странах Западной Европы, осмотрел ряд ботанических садов, установил научные контакты с учёными.

С ноября 1842 г. Железнов начал занятия в Гогенгеймской сельскохозяйственной академии. В настоящее время этот вуз называется Университетом в Хоенхайме (Германия), близ Штутгарта. Профессорско-преподавательский состав университета гордился тем, что первый директор Петровской земледельческой и лесной академии закончил этот вуз и получил диплом за номером 600. Затем были Франция, Бельгия, Нидерланды, Швейцария.

Стажировка дала Железнову очень многое: расширила его кругозор как учёного-натуралиста, обогатила теоретическими познаниями, позволила овладеть некоторыми практическими навыками,

дала возможность перенять передовой сельскохозяйственный опыт многих стран Европы.

В ноябре 1845 г. Николай Иванович вернулся в Санкт-Петербург, получил звание адъюнкта (члена-корреспондента) и был прикомандирован к Петербургскому учебному округу для чтения лекций по сельскому хозяйству в губернских городах России. Лекции Железнова имели успех, и ему было предложено место директора в сельскохозяйственной школе при Вольном экономическом обществе. Но он отклонил предложение, объяснив отказ тем, что должен поближе познакомиться с положением сельского хозяйства в России.

Изучив зарубежный опыт ведения сельского хозяйства, в конце мая 1846 г. Железнов вновь отправился в путешествие, на этот раз по России. Он объехал Московскую, Владимирскую, Ярославскую, Смоленскую и Саратовскую губернии, юго-западную часть Костромской, Нижегородскую, отчасти Казанскую губернии, собрал богатую коллекцию проб чернозёма. Он обращал внимание на продуктивность почв, способы их обработки, земледельческие орудия, методы приготовления и применения удобрений, технологию выращивания полевых и плодовых культур. В Московской губернии его заинтересовала культура хмеля, в Тульской – свёклы, во Владимирской и Ярославской – льна и т.д. Без внимания не остались и качество лугов, породы крупного рогатого скота, сорта плодовых культур. Поездка по России продолжалась шесть месяцев.

Н.И. Железнов собрал, систематизировал и обобщил огромный фактический материал о распространении культурных растений в увязке с природными, почвенно-климатическими условиями. Тогда и позднее в своих публикациях он выступал за самостоятельность российской сельскохозяйственной науки, предостерегал от слепого переноса приёмов земледелия из одних местностей в другие. Он отстаивал принцип безусловного учёта местных природных факторов среды, то, что мы потом назовём экологической генетикой.

Николай Иванович заложил основы прикладной ботаники, столь успешно развитой уже в XX в. усилиями Н.И. Вавилова. Путешествуя по России, учёный увидел весьма неприглядную картину. Уровень земледелия в стране был крайне низок, положение крепостных крестьян тяжёлое. Всё это произвело на Железнова удручающее впечатление и определило, по-видимому, характер его последующей научно-практической деятельности.

Заграничная стажировка и путешествие по России позволили Н.И. Железнову сформировать собственные взгляды на задачи сельскохозяйственной науки, которые впоследствии были изложены в его

работах, оказавших большое влияние на развитие отечественного сельского хозяйства.

**Московский университет, Вольное экономическое общество, членство в Санкт-Петербургской академии наук.** В конце 1846 г. Н.И. Железнов получил назначение в Московский университет на должность экстраординарного профессора кафедры сельского хозяйства и лесоводства. Начинаясь новый этап его жизни. Сбылась мечта – наконец он получил постоянную работу преподавателя. Курс, который читал Железнов, был весьма обширен и многообразен. Он включал в себя земледелие, лесоводство, животноводство. Особенность курса заключалась в том, что теоретические основы сельскохозяйственной науки перемежались с практическими занятиями. Это было впервые в истории Московского университета. В курс входили многочисленные производственные экскурсии (на опытный Бутырский хутор Московского общества сельского хозяйства, на образцовые хозяйства и фабрики земледельческих орудий) и строительство сельскохозяйственных сооружений. С большим воодушевлением эти новшества были восприняты студентами, которые не пропускали ни одного занятия.

В 1848 г. Н.И. Железнов стал членом Московского общества испытателей природы (основано в 1805 г.), в 1854 г. принял непосредственное участие в разработке проекта по изданию научно-популярного журнала “Вестник естественных наук”.

В 1849 г. учёный вступил в Вольное экономическое общество, став одним из наиболее активных его деятелей. В 1851 г. по поручению общества он провёл сравнительное изучение нагревательной способности ряда горючих материалов. Позже Николай Иванович был избран в члены Комитета лесоводства и в 1862 г. принимал участие в разработке нового устава общества. В 1852 г. вышла в свет его работа “Испытание вязкости почв динамометрическим ломом”, в которой он писал: “Одно из самых существенных условий для успешного занятия земледелием есть познание почвы. В ней одной отражается большая часть деятельности, усилий и успехов хозяина” [3].

В мае 1853 г. Санкт-Петербургская академия наук избрала Н.И. Железнова адъюнктом по физиологии растений. Он вновь вернулся в родной город, где учёные Академии наук во главе с её президентом графом С.С. Уваровым очень тепло встретили своего нового коллегу. Железнов продолжил научные изыскания в области ботаники – исследовал анатомическое строение корня кермеса, а также теплопроводность почв. Вскоре он приступил к лабораторным исследованиям в области физиологии растений (водный режим).

7 июня 1857 г. Н.И. Железнов был избран экстраординарным академиком по прикладной

ботанике физико-математического отделения Академии наук и с этого дня был утверждён правительством в новой должности, что значительно улучшило его материальное положение. В том же году он назначается присутствующим членом, а затем становится штатным сотрудником учёного совета комитета Министерства государственных имуществ.

В Академии наук Железнову предстояло продолжить исследования в области физиологии растений. До него этому предмету в академии не уделялось должного внимания, хотя ботаника укрепила в ней свои позиции уже давно, с самого момента основания академии в 1724 г. Изучение растительного мира шло преимущественно во флористико-систематическом направлении, поэтому приглашение успешного практика и организатора экспериментальных научных исследований открывало новые возможности.

Работа Н.И. Железнова в Академии наук предусматривала широкий комплекс экспериментальных исследований. Но академия не обладала необходимой базой для их проведения. Учёный нашёл выход: базу он создал в своём имении Нароново<sup>1</sup>, где и проводил экспериментальные исследования по физиологии растений в приложении к сельскому хозяйству.

**Опыты в Наронове.** На свои личные сбережения Н.И. Железнов оборудовал небольшую лабораторию для проведения различных опытов, в частности, определял химический состав некоторых образцов почв, исследовал процесс роста почек зимой. Его опыт в области лесоводства по акклиматизации древесных и кустарниковых пород, проведённый в новгородской тайге, актуален и по сей день. Железнов посадил на территории своей усадьбы сибирскую лиственницу, пихту, кедр, сосну и других “пришельцев” из Сибири и с Севера [4].

Николая Ивановича можно считать пионером мелиорации. Он изучал влияние подземного осушения почв на развитие растений. С 1856 г. в Наронове действует закрытый дренаж, впервые заложенный учёным в производственных условиях на сельскохозяйственных и покрытых лесом угодьях. Для этого он построил в усадьбе гончарный завод, который выпускал, кроме дренажных трубок, черепицу и кирпич. По сути, железновский дренаж – действующий музей под открытым небом. Какого

<sup>1</sup> В 1847 г. Н.И. Железнов женился на В.В. Зиновьевой, дочери тайного советника, камергера, президента Медицинской коллегии. Вера Васильевна по профессии была врач-гомеопат. За время совместной жизни в семье родилось четверо детей – два мальчика, Григорий и Василий, и две девочки, Екатерина и Эмилия. По завещанию отца Вера Васильевна получила в Новгородской губернии в Высокостровском погосте деревню Нароново с прилегающими деревеньками.

уровня достигло бы сельское хозяйство Северо-Запада, воспользуйся мы опытом Железнова в своё время! Прошло 160 лет, а его дренаж всё ещё осушает это поле. Из выходной трубы дренажной системы струится кристально чистая вода [5].

Для пересадки крупномерных деревьев Железнов сконструировал специальную машину и назвал её “подъёмный снаряд”. Как и всё гениальное, он очень прост и дешёв в изготовлении. Железнов говорил: “Два плотника устроили мне его в два дня”. Российское общество садоводов высоко оценило эту работу, наградив учёного серебряной медалью.

В 1871 г. академик успешно пересадил многие крупномерные деревья. Они сохранились до сих пор – ведь важно, как посадить. Он отмечал: “Все деревья должны быть сажаемы выше уровня почвы, разрыхлённая под корнями земля впоследствии непременно осядет – тем ниже, чем глубже вырыта яма. От этого вокруг дёрна образуется впадина, в которой осенью, весной и вообще в мокрое время происходит очень вредный для растения застой воды. Это углубление, мало-помалу, само наполняется землёй, а чаще его засыпают от незнания, и это обстоятельство есть вторая причина неуспеха пересадки. Потому что многие деревья пропадают или всю жизнь страдают, если нижняя часть ствола зарыта в землю”. Далее он пишет: “В большей части случаев, особенно при тяжёлых и серых почвах, полезно сажать деревья ещё выше, нежели на сколько может осесть разрыхлённая почва” [6].

В имении была также устроена метеорологическая станция, где Железнов проводил наблюдения, определяя количество снега, проникающего в почву, температурный режим, розу ветров и т.д. Помимо этого он много внимания уделял садоводству.

Итогом многолетней работы стало награждение действительного тайного советника академика Н.И. Железнова золотой медалью учёного совета комитета Министерства государственных имуществ. Современники понимали важность его труда.

**Предпосылки создания Петровской земледельческой и лесной академии.** Россия, как часто утверждают историки, всегда была крайне смелой, решаясь на разного рода эксперименты. Однако хотя начиная с Екатерины Великой, создавшей в 1768 г. первую комиссию и первый Комитет по освобождению крестьянства, все были убеждены в необходимости отмены крепостного права, потребовалось более 100 лет для реализации этого всеобщего устремления. Тот же Николай I собирался освободить крестьянство, но переложил принятие решения на плечи своего наследника Александра II. И только когда совпали несколько обстоятельств, в частности, поражение в Крымской войне и всё большая неловкость перед просвещённой Европой,

началось проведение реформы. Ненормальность положения остро ощущалась и каждым из государей, и общественностью. Например, так начинались воззвания тех же петрашевцев: “Доколе перед лицом просвещённой Европы мы будем сохранять позорное крепостное право?”

В то же время Россия с екатерининских времён шла от одного чудовищного финансового кризиса к другому. В 1850 г. страна оказалась фактически разорённой. Внешний и внутренний долг достиг колоссальных размеров. Достаточно почитать письма государственных деятелей того времени, которые были в панике и ждали катастрофы. Русское дворянство, если следовать историческим материалам и источникам, постоянно чувствовало себя словно на вулкане.

Трагизм ситуации заключался в том, что в странах Западной Европы XVIII–XIX вв. происходила системная промышленная революция, тогда как экономика России всё ещё базировалась на средневековой системе крепостного права, которое тормозило развитие капиталистических отношений и, как следствие, создание отвечающих времени структур в экономике, обществе и государстве.

Несоответствие экономического строя Российской империи вызовам современности лишь во второй половине XVIII – первой половине XIX в. способствовало постепенному размыванию системы крепостного права. Именно тогда зародилось “хождение в народ”, когда считалось необходимым хоть что-то дать (в том числе просвещение) оторванным от знаний массам.

В 1858–1861 гг. Н.И. Железнов работал в Новгородском комитете по освобождению крестьян от крепостной зависимости, куда был назначен правительством (в эти годы учёный преимущественно жил в имении Нароново). Совершенно естественно, что относясь к элите отечественной интеллигенции и, по-видимому, разделяя чувство вины перед крестьянством, жизнь которого хорошо знал, Николай Иванович энергично отстаивал идею освобождения крестьян. Он вступал в открытые столкновения с членами присутствия, которые относились к нему весьма недоброжелательно и даже враждебно. Тяжело переживая создавшееся положение, Железнов тем не менее продолжал отстаивать свои убеждения. Крестьянская реформа 1861 г. поставила вопрос о новом способе ведения хозяйства, о необходимости внедрения в практику земледелия основ науки. Осенью 1857 г. Московское общество сельского хозяйства признало необходимым учредить высшую сельскохозяйственную школу – Петровскую земледельческую и лесную академию, которую недаром называли наследницей крестьянской реформы. После 1861 г. вести хозяйство по-старому помещики уже не могли, об

отсталости российского сельского хозяйства было известно повсеместно. Знаменитый немецкий учёный Ю. Либих писал своему ученику и другу профессору П.А. Ильенкову: “Русское земледельческое дворянство должно, наконец, понять, что ему необходимо запастись сельскохозяйственными знаниями, если оно не хочет идти навстречу верной гибели” [7].

В 1860 г., после разрешения Департамента государственных имуществ на покупку имения Петровско-Разумовское для организации там академии, был образован комитет. В него вошли будущий директор академик Н.И. Железнов, профессора П.А. Ильенков и Р.И. Шредер. Выработанные комитетом основания для создания высшей агрономической школы получили утверждение.

**Директор Петровской земледельческой и лесной академии.** В 1861 г. Н.И. Железнов получил официальное приглашение Министерства государственных имуществ занять пост директора Петровской земледельческой и лесной академии [8]. Это предложение открывало перед ним широкие возможности научно-организаторской деятельности, направленной на развитие отечественного сельского хозяйства. С другой стороны, это вынуждало его отказаться от должности экстраординарного академика в Академии наук (членство в академии предполагало проживание в Санкт-Петербурге), оставить незавершёнными многие научные изыскания. Колебания в принятии решения были настолько велики, что Н.И. Железнов решил обратиться за советом к академику К.М. Бэру. Тот горячо приветствовал создание Петровской академии и сумел убедить своего коллегу, что “непременно следует принять предлагаемую должность, потому что в качестве директора академии он может оказать большую пользу своей Родине, нежели напечатанием нескольких учёных работ” [9]. Н.И. Железнов дал согласие и в июле 1861 г. был назначен директором нового учебного заведения с сохранением звания академика Санкт-Петербургской академии наук. Начинался ещё один жизненный этап, и Николай Иванович вместе с семьёй вновь переезжает в Москву.

Создание высшего сельскохозяйственного учреждения именно в Москве было обусловлено многими объективными и субъективными факторами: приоритетное общественно-экономическое и удобное географическое положение, наличие транспортных и почтовых коммуникаций, преимущества столичного города (близость Московского университета, научных и общественных учреждений и т.п.). С этой целью в государственную казну было выкуплено подмосковное имение Петровско-Разумовское.

Осенью 1861 г. строительный комитет и сотрудники будущей академии приступили к работе, которая продолжалась четыре года. Организатором и вдохновителем работ был Железнов. Его художественный вкус, замешанный на европейских традициях, просвещённость, гражданская позиция отражались буквально во всём – в архитектурных стилях новых и реконструкции старых построек, на внутреннем убранстве учебных, жилых и вспомогательных помещений, на реконструкции исторического парка, расположении цветников. Он организовал строительство шоссейной дороги для связи с Москвой (наряду с узкоколейной железной дорогой), принимал активное участие в оборудовании лабораторий, создании сельскохозяйственного музея, закладке питомников и оранжерей, Лиственничной аллеи, сохранившихся до наших дней.

Главными помощниками в реализации идей Николая Ивановича были П.А. Ильенков и Р.И. Шредер. Благодаря усилиям этих выдающихся людей академия расцвела изысканной красотой среди окружающей её природы, которая поражала разнообразием растительности, превосходным сочетанием красок и полутонов. В оранжереях было сосредоточено большое количество субтропических и тропических растений, а тепличная коллекция камелий по разнообразию сортов превосходила богатейшие коллекции князя Л.С. Голицына и графа Б.П. Шереметева.

По замыслу Железнова, академию следовало сделать совершенно особым, отличным от других учебных заведений, открытым для всех желающих учиться сельскому хозяйству, а главное – очень современным. Всё это было отражено и в первом уставе, который во многом опередил своё время.

Н.И. Железнов чётко представлял, что значит создать новое учебное заведение, от которого освободившееся от крепостных уз общество ожидало так много. Он понимал, что “русское земледелие подвигалось вперёд несравненно медленнее, нежели другие промыслы, имеющие в народной жизни меньшее значение” [10], и причиной этого являлся “недостаток просвещения”. “Чем образованней человек, тем он полезней обществу”, – любил повторять он. “Открытие Петровки окончательно включило Россию в семью европейских государств, послужило началом прочного гражданского развития”, – сказал Н.И. Железнов на открытии академии. Он верил, что академия “соединит... не только русское юношество... но и русских хозяев, ищущих пополнения знаний” [там же]. Он тщательно подбирал профессоров и преподавателей, формировал структуру учебного заведения.

Разработанная Н.И. Железновым концепция, в которой подчёркивалась необходимость междисциплинарной интеграции при решении

практических проблем сельского хозяйства, была ориентирована на подготовку специалистов, владеющих информацией в разных областях аграрной науки. Она была и остаётся основой подготовки профессионалов, владеющих современными научными знаниями и умеющих применять эти знания в практической деятельности. Подготовить студентов можно было не только в многочисленных, хорошо оборудованных экспериментальных лабораториях, на полях и фермах академии, но и во время экспедиций.

Такое соединение теоретической подготовки по разным дисциплинам с возможностью прямого применения комплекса полученных знаний на практике действительно позволяло получать специалистов, уникальных по широте образования и профессиональным возможностям. Этот подход отвечал “социальному заказу” не только России того периода, но и в полной мере остаётся актуальным в наши дни, так как созвучен современной парадигме высшего аграрного образования, в которой делается упор на необходимость выработки кругозора, охватывающего всю систему сетевых отношений между различными компонентами агро-сферы и её продуктивностью, формирование творческого мышления и компетенций, необходимых для обеспечения устойчивого развития сельских территорий.

Н.И. Железнов был яркой, как сейчас говорят, харизматичной личностью, занимал активную общественную позицию, не отступал от своих принципов. Именно этим можно объяснить весьма широкий круг его интересов. Он был прекрасным оратором, его лекции пользовались неизменным успехом. На страницах газет и журналов он постоянно отстаивал необходимость существования академии, так как в области сельского хозяйства Россия была крайне отсталой страной. На многочисленных примерах учёный старался показать своим оппонентам, что образованность влечёт за собой подъём благосостояния населения. Ему удалось доказать полную несостоятельность поддержанного многими проектом присоединения Высшей земледельческой школы (Петровки) к Московскому университету. “Если для сбережения государственных расходов, — иронизирует Железнов, — предлагается соединить Высшую земледельческую школу с физико-математическим факультетом, который для этой цели стоит лишь пополнить чтением ветеринарной медицины, политической экономии, лесного законодательства и сельского строительного искусства, то сбережение будет ещё значительнее, если к тому же факультету присоединить Институт корпуса путей сообщения, Академию генерального штаба и др.” [11, с. 3]. Там же он пишет: “Неужели знание естественных наук так распространено в России, что при существовании в смежности двух

учреждений — университета и академии — одно из них должно лишиться слушателей?”.

Врождённая интеллигентность Николая Ивановича сказывалась и на его внешнем облике. Он был истинный аристократ в науке и жизни, напоминал английского лорда, не терпящего ничего, что оскорбляло бы эстетическое чувство или выходило за рамки приличия. Его утончённая вежливость, умная речь, безукоризненный внешний вид вызвали расположение окружающих. Благодаря усилиям Железнова, его помощников и единомышленников Петровская академия ко дню открытия во всех своих деталях была изящна, везде обнаруживались вкус и целесообразность, во всём чувствовалось воплощение передовой мысли, современной эстетики, европейских традиций.

Но, конечно, мировой научной славе Н.И. Железнова способствовали работы по эмбриологии, физиологии растений и ботанике. Его деятельность была активно продолжена учениками, благодаря чему появлялись новые кафедры в других университетах, новые направления исследований. Например, возникла кафедра физиологии растений, одна из старейших на биологическом факультете Московского университета, и первым её профессором стал С.А. Рачинский — ученик Н.И. Железнова, талантливый ботаник с широким кругом интересов. Рачинскому принадлежит первый перевод на русский язык книги Ч. Дарвина “Происхождение видов” (1864), прославивший его как популяризатора теории Дарвина в России.

Н.И. Железнов пробыл директором академии всего восемь лет со дня её основания. Это были годы, когда разрабатывались учебные планы и пособия, строились научная и учебная базы. Масштаб, комплексность и системность взглядов Железнова оказали огромное влияние на дальнейшее развитие агробиологических наук в России.

Ещё до открытия академии была проделана большая работа, цель которой — объединить процесс обучения, научного эксперимента и прямого внедрения полученных результатов в практику. Это требовало хороших экспериментальных лабораторий, возможности перенесения исследований в полевые условия, а также большого количества наглядного, обучающего материала. Под руководством Николая Ивановича было построено здание для аудиторных занятий, заложены ферма, лесная дача, разбиты поля и угодья, спланированы севообороты. На месте некоторых прежних оранжерей возник сельскохозяйственный музей. Ферму строили там, где в былые времена располагалась суконная фабрика Шульца. Скот для фермы в основном покупался за границей. На 200 десятинах было разбито 12 опытных полей. Химическая лаборатория отвечала тогдашнему европейскому

уровню. Появились многочисленные служебные и хозяйственные помещения, были отремонтированы старые и выстроены новые оранжереи и теплицы. Под непосредственным руководством Н.И. Железнова и при участии главного садовника академии Р.И. Шредера были устроены плодовый и лесной питомники, огород, Лиственничная аллея. По инициативе Железнова создавалась и библиотека, датой основания которой считается 1865 г. Ядро библиотеки составили книги, полученные из Санкт-Петербургской публичной библиотеки, библиотеки Академии наук, Санкт-Петербургского лесного института и пр. Комплектование её шло и за счёт пожертвований отдельных лиц. Крупные пожертвования в эту библиотеку сделали Н.И. Железнов, И.Б. Ауэрбах [12].

Несмотря на то, что Николай Иванович был необыкновенно успешным исследователем, организатором учебной и научной работы, жизнь его трудно назвать благополучной. Проблема заключалась в устоях того времени.

Благодаря либеральному уставу академии стать её слушателями могли разночинные представители молодёжи, бедного класса трудовых сословий, дети сельского духовенства. Н.И. Железнов пренебрегал государственной квотой на поступление в слушатели академии, например, поляков. При поддержке совета он решился ослушаться этого распоряжения, и к открытию академии абсолютно все подавшие заявления поляки были приняты, хотя их число значительно превышало указанную квоту в 10%. На слушателей Железнов смотрел как на граждан, сознательно избирающих сферу деятельности и не нуждающихся в ежедневном надзоре.

В своей речи на открытии академии Н.И. Железнов подчеркнул: “В настоящее время, когда хозяйственные условия России совершенно изменились и обновились, как нельзя более уместно открытие такого учреждения, в котором бы каждый хозяин мог дополнить недостающие ему сведения... учреждения, в котором бы каждый молодой человек, готовящийся к хозяйственному поприщу, мог получить высшее хозяйственное образование. Главная задача академии состоит в распространении хозяйственных сведений, и должно надеяться, что со временем слушатели не погонятся за служебными преимуществами, а будут искать одних знаний...” [10].

Учёный также обращал внимание слушателей на необходимость тщательного изучения ими основ науки: “Для того, чтоб ваши знания и деятельность принесли обществу ожидаемую им пользу, не забудьте, что основательные специальные знания не могут быть прочны без старательного изучения основных наук; не забудьте, что чем более вы приобретёте общечеловеческого образования, тем шире

и полезнее делается круг вашей будущей деятельности. Не забудьте также, что одни технические знания не образуют ещё техника. Чтоб достигнуть на этом поприще какой-нибудь заметной цели, необходимо обладать многими нравственными качествами, в которых вам предстоит укрепиться ещё более, нежели в знаниях, потому что нравственные качества труднее приобретаются” [там же].

Железнов предостерегал слушателей от поверхностного, только для экзаменов, изучения преподаваемых наук: “Не увлекайтесь предоставленной вам свободой. Если вы хотите знать что-нибудь основательно, то отбросьте тот способ, которому, вероятно, многие из вас следовали до сих пор, не приготовляйтесь только к экзаменам, а преследуйте предмет шаг за шагом. Только этот способ изучения прочен... Предупреждаю вас, что академические свидетельства достанутся не без труда. Если увидите, что для одновременного изучения многих предметов не останется времени, то лучше остаться в академии лишний год, а не старайтесь пройти курс как можно скорее” [там же].

В этот период Н.И. Железнов вёл активные научные исследования на опытных участках, в частности, по выяснению всхожести недоразвитых семян гречихи. С 1868 г. к исследованиям стали привлекаться слушатели. Получив солидную естественно-научную подготовку в первые два года, на старшем курсе они уже могли проводить самостоятельные научные работы.

Тем не менее дальнейшее развитие событий приняло драматический характер, продемонстрировав уровень готовности российского сообщества к созидательной работе.

Внешне жизнь Н.И. Железнова была благополучна, но он относился к тем людям, дар которых опережает время. В апреле 1869 г. он неожиданно подал заявление на имя министра государственных имуществ с просьбой снять его с поста директора и уволить из академии. 17 мая об этом было объявлено на заседании совета, и Николай Иванович навсегда распрощался с Петровской земледельческой и лесной академией.

Чем же было вызвано это печальное для академии событие, ведь благодаря своему директору она приобрела славу лучшего аграрного учебного заведения России? Один из инцидентов произошёл в марте 1869 г. Н.И. Железнову стало известно, что некоторые слушатели принимают в своих комнатах посторонних лиц, главным образом особ женского пола. Он указал им на недопустимость нарушения установленного порядка. Однако они отказались выполнить предписание директора, ссылаясь на то, что в правилах академии нет таких ограничений. Железнов продолжал настаивать, что подобное поведение приводит к недоразумениям, и просил не

принимать в общежитиях академии женщин, даже родственниц. Но слушатели вновь отказались выполнить его требование, и 110 человек подали на него жалобу в совет академии. Железнов не стал обсуждать эту проблему с членами совета, а подал запрос в Министерство государственных имуществ, откуда получил ответ о том, что распоряжения директора не могут быть предметом обсуждения. Когда он зачитал этот ответ на заседании совета, его члены восприняли телеграмму министерства как выражение недоверия к ним, а также осудили Н.И. Железнова за “неколлегиальный” поступок. Весь апрель в совете тянулись обсуждения письма-ответа министерству. В итоге Железнов, считая, что он потерял доверие слушателей и преподавательского состава, подал в отставку. Так академия потеряла своего первого директора.

Похоже, что этот по-европейски образованный человек не мог поступить иначе. Причина такого развития событий – сочетание массовых протестных настроений среди молодёжи того времени с интеллигентским чувством вины. Зачастую вклад в развитие науки той или иной личности способны оценить только потомки.

В мае 1869 г. Н.И. Железнов оставил Москву, вернулся в Санкт-Петербург и вновь занялся своим любимым делом – исследованиями по физиологии растений. Его работы по водному режиму растений были известны не только в России, но и за рубежом. Не обделял он своим вниманием и область плодоводства. В августе 1869 г. Железнов принял участие в работе II съезда русских естествоиспытателей. Николай Иванович вёл активную жизнь: в 1870 г. путешествовал по Крыму, в 1874 г. посетил Италию, на Международном съезде садоводов во Франции он представлял Россию. В июне 1872 г. он предпринял поездку на Валаам, в монастырь, который был основан в XIV в. и славился своим яблоневым садом – лучшим в России. Учёный собрал сведения о том, как был заложен сад, изучил уникальные технологии возделывания плодовых культур, сделал анализ почв. Он внёс посильную лепту в развитие русского декоративного садоводства. Результаты его работ в этой области были высоко оценены: Российское общество садоводства учредило золотую медаль имени Н.И. Железнова.

В конце января 1877 г. Николай Иванович должен был председательствовать в жюри на Международной выставке садоводов в Амстердаме, но в ночь с 14 на 15 января скоропостижно скончался.

17 февраля 1877 г. состоялось заседание в Московском обществе испытателей природы, на котором с докладом о жизни и научной деятельности Николая Ивановича выступил К.А. Тимирязев, отметивший в своей речи, что Н.И. Железнов принадлежал к прогрессивной

части русской интеллигенции второй половины XIX в., которой была дорога судьба России.

Похоронен Н.И. Железнов в своём новгородском имении в усадьбе Матвейково.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Баутин В.М.* Об основоположнике отечественного аграрного образования и науки в России Н.И. Железнове. М.: Наука, 2007. С. 5–8.
2. *Бекетов А.Н.* Памяти Н.И. Железнова // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. 1977. Т. VIII. С. 28–30.
3. *Железнов Н.И.* Испытание вязкости почв динамометрическим ломом // Записки Лебедянского общества сельского хозяйства за 1852 г. М., 1853.
4. *Авдеев А.Н., Авдеев Э.А.* Опыт выявления, изучения и использования лесных пород экзотов, произрастающих в старинных усадебных парках Новгородчины // Материалы Всероссийской конференции “Усадебные парки русской провинции: проблемы сохранения и использования”. Великий Новгород: Изд-во НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2003. С. 207–209.
5. Н.И. Железнов и Новгородчина (к 190-летию со дня рождения академика Н.И. Железнова) / Сост. Л.Э. Бриккер. Великий Новгород: Изд-во НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2006.
6. *Железнов Н.И.* О пересадке больших деревьев // Земледельческая газета. 1872. № 4. С. 55–59; № 5. С. 71–72.
7. Либих и его значение для сельского хозяйства // Речь, прочитанная в годичном заседании Московского общества сельского хозяйства 7 апреля 1874 г. проф. П.А. Ильенковым. М.: Университетская типография, 1874.
8. *Манойленко К.В.* Николай Иванович Железнов. М.: Наука, 2007.
9. *Кесслер К.Ф.* Некролог Н.И. Железнова // Труды Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей. 1877. Т. VIII. С. 1–19.
10. *Железнов Н.И.* Речь при открытии лекций в Петровской земледельческой и лесной академии // Открытие лекций в Петровской земледельческой и лесной академии. М., 1866. С. 3–14.
11. *Железнов Н.И.* Ответ на статью, помещённую в № 22 “Московских ведомостей” о Петровской земледельческой и лесной академии // Московские ведомости. 1864. № 41.
12. *Баутин В.М., Манойленко К.В.* Очерк о жизни и деятельности Н.И. Железнова // Материалы к биобиблиографии деятелей сельскохозяйственной науки и образования. Серия “Учёные Тимирязевской академии”. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2006. С. 3–16.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ  
ОТДЕЛ

ПРЕЗИДИУМ РАН РЕШИЛ  
(ноябрь–декабрь 2016 г., январь 2017 г.)

DOI: 10.7868/S0869587317050085

• Утвердить Перечень научных организаций и образовательных организаций высшего образования, в отношении которых РАН осуществляет научно-методическое руководство их научной и научно-технической деятельностью. Контроль за выполнением постановления возложить на главного учёного секретаря Президиума РАН академика **М.А. Пальцева**.

• Пролонгировать на 2017 г. утверждённый постановлением Президиума РАН от 13 октября 2015 г. № 213 Перечень программ фундаментальных исследований РАН по приоритетным направлениям, определяемым РАН.

Установить на 2017 г. единый процент сокращения финансирования работ по данным программам – 1.7%. Предусмотреть при оформлении участниками программ государственных заданий на выполнение НИР на 2017 г. включение в базовые задания работ по программам на сокращённые объёмы. Утвердить распределение финансирования программ на 2017 г., а также аналогичное распределение финансирования программ в целях формирования обоснования бюджетных ассигнований на плановый период 2018 и 2019 гг. Координаторам программ представить в Финансово-экономическое управление РАН (Отдел формирования и финансирования программ и проектов) распределение финансирования между исполнителями, научными организациями, подведомственными ФАНО России, на предлагаемый лимит финансирования и сметы расходов на выполнение работ с учётом сокращения финансирования.

Контроль за выполнением постановления возложить на члена Президиума РАН, председателя Комиссии Президиума РАН по формированию Перечня программ фундаментальных исследований РАН академика РАН **Г.А. Месяца**.

• Организовать при Президиуме РАН Комиссию РАН по научной этике. Председателем комиссии назначить академика РАН **А.Г. Чучалина**. Контроль за выполнением постановления возложить на главного учёного секретаря Президиума РАН академика **М.А. Пальцева**.

• Считать государственное задание, утверждённое Дальневосточному отделению РАН на 2016 г., выполненным полностью.

• Утвердить академика РАН **М.А. Семихатова** главным редактором журнала “Стратиграфия. Геологическая корреляция” РАН с 13 декабря 2016 г. на новый срок – пять лет.

• Освободить члена-корреспондента РАН **В.Е. Щербинина** от обязанностей главного редактора журнала “Дефектоскопия” РАН по личной просьбе. За многолетнюю научно-организационную работу объявить **Виталию Евгеньевичу Щербинину** благодарность.

Утвердить доктора технических наук **В.Н. Костина** главным редактором журнала “Дефектоскопия” РАН с 20 декабря 2016 г. сроком на пять лет.

• Утвердить академика РАН **Ж.И. Алфёрова** главным редактором журнала “Письма в Журнал технической физики” РАН с 20 декабря 2016 г. на новый срок – пять лет.

• Утвердить члена-корреспондента РАН **А.И. Аветисяна** главным редактором журнала “Программирование” РАН с 27 декабря 2016 г. сроком на пять лет.

• Утвердить постановление общего собрания Отделения наук о Земле РАН от 25 октября 2016 г. о присуждении учёной степени доктора *honoris causa* иностранному учёному **Дональду Джину Саари** (США).

• Утвердить постановление общего собрания Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН от 25 октября 2016 г. о присуждении учёной степени доктора *honoris causa* иностранному учёному **Альберто Карпинтери** (Италия).

• Утвердить постановление общего собрания Отделения химии и наук о материалах РАН от 25 октября 2016 г. о присуждении учёной степени доктора *honoris causa* иностранным учёным: профессору **Шоу-Ан Чену** (Тайвань) и профессору **Роже Гилару** (Франция).

• Утвердить академика РАН **А.М. Черепашука** председателем Экспертной комиссии по премии им. И.С. Шкловского РАН.

• Продлить срок представления работ на конкурс о присуждении премии им. О.Ю. Шмидта до 30 июня 2017 г.

## ЮБИЛЕИ

## АКАДЕМИКУ РАН Н.З. ЛЯХОВУ – 70 ЛЕТ



Николай Захарович ЛЯХОВ – известный учёный в области гетерогенной кинетики твердофазных реакций и химического материалообразования, автор и соавтор более 400 научных публикаций, в том числе 5 монографий. Им выполнены фундаментальные исследования кинетики и механизма топахимических реакций

разложения твёрдых веществ, кинетики механохимических реакций, механизма и кинетики радиационно-термических процессов.

Совместно с сотрудниками учёным развивалось новое направление в химии твёрдого тела, получившее название радиационно-термической активации – интенсификации высокотемпературных реакций мощными потоками ускоренных электронов. Получены результаты исследований, свидетельствующие об ускорении потоками электронов твердофазного синтеза и спекания неорганических материалов, процессов диспергирования, восстановления и др. Построена кинетическая модель радиационно-термических процессов, учитывающая импульсный характер радиационного воздействия и релаксацию избыточной концентрации дефектов. С помощью механохимических методов, в том числе в сочетании с процессами

самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, получены нанокompозиты и нанопорошки интерметаллидов. Показана роль механокомпозитов в механохимическом синтезе.

Под руководством Николая Захаровича развиты экспериментальные методы исследования быстропротекающих реакций с участием твёрдых веществ, основанные на дифрактометрии синхротронного излучения. Изучены *in situ* процессы синтеза сложных оксидов, фазообразования в золь-гель системах, формирования нанодисперсных частиц при взрыве и др.

Н.З. Ляхов был главным учёным секретарём СО РАН, членом Совета депутатов г. Новосибирска, вице-президентом Ассоциации академий наук стран Азии. В настоящее время он директор Института химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, профессор кафедры твёрдого тела Новосибирского национального исследовательского университета, член Президиума СО РАН, бюро Объединённого учёного совета по химическим наукам СО РАН и Научного совета РАН по материалам и наноматериалам, вице-президент Российского химического общества им. Д.И. Менделеева, главный редактор международного журнала “Химия в интересах устойчивого развития”, член редколлегий ряда научных журналов.

Н.З. Ляхов – лауреат премии им. В.А. Коптюга РАН, Государственной премии Новосибирской области, награждён орденами Дружбы и “Знак Почёта”.

## АКАДЕМИКУ РАН Ю.М. ПУЩАРОВСКОМУ – 100 ЛЕТ



Юрий Михайлович ПУЩАРОВСКИЙ – крупный учёный-геолог, патриарх отечественной геологической науки, тектонист, автор более 530 научных публикаций, в том числе 17 монографий. Его имя связано со многими ключевыми достижениями в области региональной геологии

и тектоники океанов и приокеанических зон. Значительный вклад внесён им в развитие геолого-разведочных работ, отечественной тектонической картографии, разведку и открытие месторождений полезных ископаемых. Он автор, соавтор и научный редактор 14 тектонических и 2 геологических карт, охватывающих обширные территории нашей

планеты; имеет авторское свидетельство за открытие Усть-Вилюйского месторождения природного газа.

Осуществляя теоретическое руководство многими геологическими экспедициями, учёный развивал широкомасштабные работы по изучению состава и строения земной коры и мантии под океанами. На этой основе был сделан вывод о разномасштабности, разноуровненности и неупорядоченности конвективных процессов в мантии Земли. Создано новое направление в геодинамике – нелинейная геодинамика.

Особое внимание Юрий Михайлович уделял регионально-геологическим исследованиям океанического дна, считая их первоосновой всех теоретических представлений о геологическом развитии океанов. Им рассмотрены все аспекты океанской

геологии – от характеристики океанов в целом до тщательного описания их крупнейших морфоструктур и основных тектонических явлений и процессов в океанах. Являясь куратором работ АН СССР по изучению геологии океанического дна и анализируя общие тектонические проблемы океанов, он выявил разномасштабные латеральные вещественные и структурные неоднородности океанских геосфер.

Ю.М. Пушаровский был организатором и заведующим лабораторией тектоники океанов и приокеанических зон Геологического института РАН, членом бюро Отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук АН СССР (с 2002 г. Отделение наук о Земле РАН), членом Научного совета РАН по комплексным исследованиям коры и верхней мантии, председателем секции “Тектоника”, председателем секции геологии, геофизики и геохимии Комиссии АН СССР по проблемам Мирового океана (с 1992 г. это Научный совет РАН по проблемам Мирового океана), руководил многими советами, комиссиями и комитетами, в том числе был председателем Межведомственного тектонического комитета АН СССР, заместителем председателя Экспертного совета по наукам о Земле ВАК и Национального комитета геологов Советского Союза, членом Советского национального комитета Тихоокеанской научной ассоциации, двустороннего Комитета АН СССР и АН Республики Куба по сотрудничеству в области естественных наук при

Президиуме АН СССР, Комиссии по изучению и использованию минеральных ресурсов океанов и морей при ГКНТ; руководил проектом “Литос” государственной комплексной программы “Мировой океан”, был научным руководителем Восточной комплексной геологической экспедиции ГИН, инициатором создания и 20 лет главным редактором журнала “Геотектоника”, членом редколлегии журналов “Доклады АН СССР (РАН)”, “Океанология”, “Российский журнал наук о Земле”, редактором многих монографий и сборников научных статей. В настоящее время он советник РАН, руководитель группы тектоники океанов Геологического института РАН, почётный председатель Межведомственного тектонического комитета РАН, Среди его учеников 1 член-корреспондент РАН, 9 докторов и более 20 кандидатов наук.

Ю.М. Пушаровский – лауреат Государственных премий СССР и РФ в области науки и техники; лауреат золотой медали им. А.П. Карпинского РАН, им. Н.С. Шатского РАН, премии им. А.П. Карпинского АН СССР и премии МОИП за работы по тектонике Тихоокеанского сегмента Земли. Он награждён орденами Трудового Красного Знамени (дважды), Почёта и “Знак Почёта”; как участник Великой Отечественной войны с 1941 по 1945 г. – орденами Отечественной войны I степени, Красной Звезды, медалями “За боевые заслуги” и “За победу над Германией”; участник Парада Победы на Красной площади в Москве 24 июня 1945 г.

#### ЧЛЕНУ-КОРРЕСПОНДЕНТУ РАН В.Н. УШАКОВУ – 70 ЛЕТ



Владимир Николаевич УШАКОВ – известный учёный-математик, специалист в области дифференциальных игр, теории оптимального управления и негладкого анализа, автор более 200 научных публикаций. Им предложен метод регуляризации недифференцируемых функций и множеств с негладкой границей

на основе локальных выпуклых оболочек, который явился базой для численных процедур построения аппроксимационных решений дифференциальных игр и задач управления; исследовано ключевое в теории дифференциальных игр свойство стабильности; предложено обобщение метода унификации Н.Н. Красовского при описании свойства стабильности; в теорию дифференциальных игр введено понятие дефекта стабильности множества, позволяющее расширить концепцию стабильности;

разработана методология исследования невыпуклых по существу множеств; доказаны теоремы об отделимости для некоторых типов мажорируемых невыпуклых множеств.

Владимир Николаевич разработал методы и алгоритмы решения игровых задач о сближении нелинейных управляемых систем, игровых задач с фазовыми ограничениями, в том числе задач обхода препятствий протяжёнными объектами, методы и алгоритмы приближённого вычисления множеств достижимости некоторых классов управляемых систем.

В.Н. Ушаков работал заведующим отделом динамических систем Института математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН, в настоящее время он главный научный сотрудник этого отдела, руководитель секции процессов управления, дифференциальных уравнений и механики учёного совета института, председатель диссертационного совета; преподаёт в Уральском федеральном университете, Челябинском

и Удмуртском государственных университетах; руководитель работ в рамках Программы фундаментальных научных исследований Президиума РАН, проектов УрО РАН, РФФ и РФФИ, эксперт РФФИ; член редколлегий журналов “Труды

Института математики и механики УрО РАН”, “Вестник “Южно-Уральского государственного университета”, “Вестник Удмуртского государственного университета”. Среди его учеников 2 доктора и 10 кандидатов наук.

## НАГРАДЫ И ПРЕМИИ

### ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ В.Л. ГИНЗБУРГА 2016 ГОДА – М.В. САДОВСКОМУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. В.Л. Гинзбурга 2016 г. академику Михаилу Виссарионовичу Садовскому за цикл работ по теоретическим проблемам физики высокотемпературных сверхпроводников.

М.В. Садовский внёс большой вклад в объяснение электронного строения высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП). Исследованные им точно решаемые одномерные модели оказались востребованными в недавнее время в связи с проблемой объяснения псевдощелевого состояния в высокотемпературных сверхпроводниках. Проведённое им обобщение этих моделей на двумерный случай позволило объяснить основные свойства псевдощелевого состояния в ВТСП

купратах, связав его с флуктуациями ближнего антиферромагнитного порядка.

В последние годы М.В. Садовский расширил тематику своих работ на современные вычислительные методы. В этой области им было сделано обобщение динамической теории среднего поля в теории сильнокоррелированных систем, позволившее учесть эффекты нелокальности, а также взаимодействие с примесями, фононами и другими возбуждениями. Вместе с соавторами им проведены пионерские расчёты электронных спектров новых высокотемпературных сверхпроводников на основе железа. Полученные результаты хорошо согласуются с проведёнными позднее ARPES (неупругая спектроскопия с угловым разрешением) экспериментами и привели к созданию “стандартной модели” электронного спектра новых сверхпроводников.

### ПРЕМИЯ ИМЕНИ А.А. БАЛАНДИНА 2016 ГОДА – В.И. БУХТИЯРОВУ, И.В. КОПТЮГУ И А.Ю. СТАХЕЕВУ



Президиум РАН присудил премию им. А.А. Баландина 2016 г. академику Валерию Ивановичу Бухтиярову, доктору химических наук Игорю Валентиновичу Коптюгу (Международный томографический центр СО РАН) и доктору химических наук Александру Юрьевичу Стахееву (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН) за серию работ “Наноструктурирование активного

компонента – метод управления каталитическими свойствами нанесённых металлических катализаторов в реакциях гидрирования и окисления”.

Удостоенные премии работы посвящены выяснению фундаментальных закономерностей, связывающих размер наночастиц благородных металлов с каталитическими свойствами систем на их

основе – “размерный эффект”. Для выяснения этого вопроса авторами был разработан оригинальный метод приготовления Pd и Pt катализаторов с заданной дисперсностью. Метод обладает высокой технологичностью, что позволяет использовать его не только в лабораторной практике, но и для промышленного производства катализаторов с регулируемым размером наночастиц металлов.

Используя разработанный метод приготовления, авторы провели цикл фундаментальных

исследований, направленных на выяснение взаимосвязи каталитических характеристик наночастиц палладия и платины с их размером в процессах гидрирования и окисления, имеющих большое промышленное значение. Установленные закономерности позволяют оптимизировать такие ключевые параметры каталитического действия, как активность и селективность, и существенно снизить содержание благородных металлов в катализаторах.

## ПРЕМИЯ ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА 2016 ГОДА – В.И. ЕРМОЛКИНУ И В.Ю. КЕРИМОВУ



и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина) за учебник “Геология и геохимия нефти и газа”.

В.И. Ермолкин – автор более 170 научных работ, в том числе 13 монографий и учебников, специалист по исследованию генетических связей и закономерностей размещения скоплений нефти и газа в земной коре. Под его руководством разработана принципиальная модель генетической фазовой зональности углеводородов в земной коре и создана методика раздельного прогнозирования поисков залежей нефти, газа и газоконденсата.

Президиум РАН присудил премию им. И.М. Губкина 2016 г. доктору геолого-минералогических наук Виктору Ивановичу Ермолкину и доктору геолого-минералогических наук Вагифу Юнус-оглы Керимову (Российский государственный университет нефти

и газа). В.Ю. Керимов – специалист в области глубинной тектоники, условий формирования нефтяных и газовых месторождений, разработки критериев прогнозирования поисков и разведки скоплений нефти и газа на территории России.

## ПРЕМИЯ ИМЕНИ Д.С. РОЖДЕСТВЕНСКОГО 2016 ГОДА – В.С. ЗАПАСКОМУ

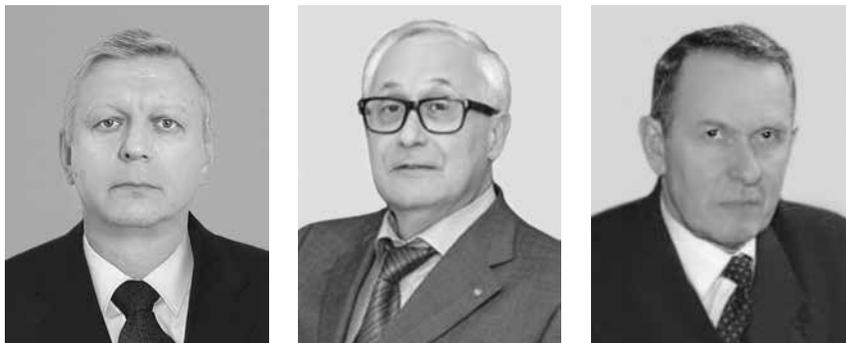


Президиум РАН присудил премию им. Д.С. Рождественского 2016 г. доктору физико-математических наук Валерию Сергеевичу Запаскому (Санкт-Петербургский государственный университет) за цикл работ “Лазерная спектроскопия спонсовых шумов”.

В работах В.С. Запаского предложен и реализован принципиально новый способ наблюдения магнитного резонанса, основанный на оптической регистрации шумов намагниченности. Пионерская

работа по наблюдению магнитного резонанса в шумах фарадеевского вращения была выполнена В.С. Запаским совместно с Е.Б. Александровым ещё в 1981 г., однако расцвет этого направления наступил только в последние годы, когда выяснилась перспективность применения данной техники к полупроводниковым структурам (включая низкоразмерные). Новое направление исследований активно развивается во многих научных лабораториях мира. В.С. Запаский является общепризнанным лидером в этой области науки. Полученные им и его группой в последние годы оригинальные результаты, опубликованные в ведущих научных изданиях, существенно повлияли на прогресс в области исследований магнитного резонанса.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Н.В. МЕЛЬНИКОВА 2016 ГОДА – В.Н. ЗАХАРОВУ,  
В.Л. ШКУРАТНИКУ И А.А. КОЗЫРЕВУ

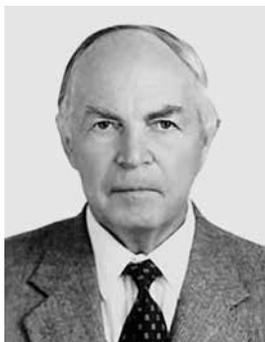


Президиум РАН присудил премию им. Н.В. Мельникова 2016 г. доктору технических наук Валерию Николаевичу Захарову (Институт проблем комплексного освоения недр РАН), доктору технических наук Владимиру Лазаревичу Шkuratнику (Национальный исследовательский технологический университет) и доктору технических наук Анатолию Александровичу Козыреву (Горный институт Кольского научного центра РАН) за цикл работ по теории и методологии геоинформационного обеспечения комплексного освоения недр на основе методов геоконтроля.

В основе удостоенного премии цикла работ лежат теоретическое и эмпирическое обобщения,

а также проблемный анализ знаний об освоении недр и практики их применения в контексте эволюции горных наук. В.Н. Захаров, В.Л. Шkuratник и А.А. Козырев являются основоположниками и признанными лидерами нового научного направления в решении проблемы освоения и сохранения недр. Появление столь крупных научных результатов, которые представлены в цикле работ по теории и методологии геоинформационного обеспечения комплексного освоения недр на основе методов геоконтроля, было подготовлено предшествующими результатами исследований каждого из соавторов в своей области деятельности.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ М.М. КОВАЛЕВСКОГО 2016 ГОДА – Н.И. ЛАПИНУ



Президиум РАН присудил премию им. М.М. Ковалевского 2016 г. члену-корреспонденту РАН Николаю Ивановичу Лапину за серию работ “Проблемы социокультурной эволюции современной России и её регионов: методология и результаты исследований. 1990–2015 гг.”.

В 2006 г. Н.И. Лапин инициировал создание Программы исследований социокультурной эволюции

современной России (реализуется учёными НИИ и ведущих университетов 27 субъектов РФ), руководит её осуществлением, внёс значительный авторский вклад в разработку методологии исследований и анализ их результатов, а также создал новое научное направление “Социокультурная компаративистика российских регионов”, на базе которого образована межрегиональная научная школа.

Полученные Н.И. Лапиным теоретические и прикладные результаты имеют существенное значение для развития социально-философских и социологических знаний о содержании эволюции современной России и её регионов.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ А.Н. КРЫЛОВА 2016 ГОДА –  
В.Д. ЛАХНО

Президиум РАН присудил премию им. А.Н. Крылова 2016 г. доктору физико-математических наук Виктору Дмитриевичу Лахно (Институт математических проблем биологии РАН – филиал Федерального исследовательского центра “Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН”) за

цикл работ по математическому моделированию переноса заряда в биополимерах.

Удостоенный премии цикл работ посвящён изучению общих свойств движения электрона

в молекулярных цепочках, которое описывается в рамках квантово-механической модели по колебательным степеням свободы – в рамках моделей классической механики и квантовой модели с учётом нелинейных эффектов. При этом используются идеи полярона и биополярона. Основная точка приложения развиваемых моделей – проблема переноса электрона по цепи ДНК. Она интересна с точки зрения биологии и нанотехнологий в связи с идеями конструирования нанопроводов для различного рода микроэлектронных устройств. Работы В.Д. Лахно охватывают многолетние исследования моделей переноса заряда в ряде модельных биополимеров и содержат новые интересные результаты.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ П.А. РЕБИНДЕРА 2016 ГОДА –  
А.И. МАЛКИНУ

Президиум РАН присудил премию им. П.А. Ребиндера 2016 г. доктору физико-математических наук Александру Игоревичу Малкину (Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН) за цикл работ “Кинетические модели физико-химической механики разрушения”.

Удостоенный премии цикл работ посвящён разработке кинетической

теории роста поверхностных трещин в твёрдых телах под действием адсорбционно-активной внешней среды. Предложенные автором кинетические модели позволили существенно продвинуться в понимании механизмов разрушения твёрдых тел и проявления эффекта Ребиндера. Результаты работ А.И. Малкина использованы в исследованиях коррозионного растрескивания стенок взрывных химических боеприпасов. В настоящее время созданная в Институте физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН технология резания применяется при выводе из эксплуатации 1-го энергоблока Нововоронежской АЭС.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ И.П. БАРДИНА 2016 ГОДА – С.С. НАБОЙЧЕНКО,  
М.Н. НАФТАЛЮ И Е.Н. СЕЛИВАНОВУ



Президиум РАН присудил премию им. И.П. Бардина 2016 г. члену-корреспонденту РАН Станиславу Степановичу Набойченко, Михаилу Нафтольевичу Нафталию (ОАО Горно-металлургическая компания “Норильский никель”) и доктору технических наук Евгению Николаевичу Селиванову (Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук) за серию работ “Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов”.

Серия работ охватывает широкий круг вопросов, связанных с теоретическим обоснованием автоклавных процессов и с практическим их применением при решении конкретных задач производства металлов различного назначения.

Результаты исследований используются для анализа многих гидрометаллургических процессов, протекающих в автоклавах при повышенных температурах и давлениях и в присутствии газообразных реагентов на промышленных предприятиях.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Ф.П. САВАРЕНСКОГО 2016 ГОДА –  
Б.Н. РЫЖЕНКО И В.М. ШВЕЦУ



Президиум РАН присудил премию им. Ф.П. Саваренского 2016 г. доктору химических наук Борису Николаевичу Рыженко (Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН) и доктору геолого-минералогических наук Владимиру Михайловичу Швецу (Российский

государственный геолого-разведочный университет им. Серго Орджоникидзе) за монографию “Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты”.

В удостоенной премии монографии подведён итог полувековых гидрогеохимических исследований авторов. Работа представляет собой фундаментальное исследование, в котором на современном уровне знаний рассмотрены проблемы формирования макросоставляющих различных геохимических типов подземных вод и для нескольких десятков микрокомпонентов дано объяснение их гидрогеохимической истории. Монография полезна как для зрелых специалистов гидрогеологов, экологов, поисковиков, так и для студентов, обучающихся по соответствующим специальностям, и имеет большое теоретическое, методическое и практическое значение.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ В.С. НЕМЧИНОВА 2017 ГОДА –  
В.Л. ТАМБОВЦЕВУ

Президиум РАН присудил премию им. В.С. Немчинова 2017 г. доктору экономических наук Виталию Леонидовичу Тамбовцеву (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова) за цикл работ “Теоретические и эмпирические исследования институциональных изменений”.

Удостоенный премии цикл работ посвящён детальному анализу процессов институциональных изменений в экономике, включающему разработку оригинального подхода к проектированию экономических институтов, аналоги которому отсутствуют в мировой науке, а также существенную модификацию концепции рынка для институтов.

Развитие теории институциональных изменений базируется на разработанной В.Л. Тамбовцевым теоретической модели процессов возникновения институтов, охватывающей все возможные варианты осуществления этих процессов, и разработке оригинального подхода к выявлению микрооснований теории институциональных изменений, развивающего когнитивную трактовку институциональной динамики, предложенную ранее Д. Нортом и его соавторами. Данные теоретические разработки стали надёжной основой для эмпирического анализа произошедших с начала 2000-х годов основных институциональных изменений в российской экономике. Показано, что значительная часть изменений, прежде всего в сфере инвестиционных процессов, негативно отразилась на стимулах к частному инвестированию.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Ф.Ф. МАРТЕНСА 2016 ГОДА –  
В.Л. ТОЛСТЫХ

Президиум РАН присудил премию им. Ф.Ф. Мартенса 2016 г. доктору юридических наук Владиславу Леонидовичу Толстых (Новосибирский национальный исследовательский государственный университет) за научную работу “Международные суды и их практика”.

Удостоенная премии научная работа представляет собой первое в современной отечественной правовой науке системное исследование проблем теории и практики международного правосудия. В ней рассматриваются его

нормативно-правовые и институциональные элементы, история и методология изучения, процессуальные и организационные проблемы, возникающие в деятельности международных судов, затрагивается широкий круг вопросов, связанных не только с международными судами, но и с различными институтами международного права.

Автору удалось обобщить достижения отечественной и зарубежной науки, осветить основные теоретические концепции, представить существующие дискуссии и показать их прикладное значение, сформулировать ряд глубоких выводов относительно природы и тенденции развития системы международного правосудия. Многие судебные решения и правовые концепции впервые излагаются на русском языке.

## ПРИСУЖДЕНИЕ ЗОЛОТЫХ МЕДАЛЕЙ 2017 Г. ЗА ВЫДАЮЩИЕСЯ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПРОПАГАНДЫ НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ



Президиум РАН постановляет:

Присудить золотую медаль и присвоить звание «Лауреат золотой медали за выдающиеся достижения в области пропаганды научных знаний за 2017 г.» кандидату физико-математических наук **Николаю Николаевичу Андрееву**, доктору физико-математических наук **Николаю Петровичу Долбину**, кандидату физико-математических наук **Павлу Александровичу Кожевникову**, кандидату физико-математических наук **Сергею Петровичу Коновалову**, кандидату физико-математических наук **Никите Михайловичу Панюнину** (Математический институт им. В.А. Стеклова РАН) за работу «Проекты Лаборатории популяризации и пропаганды математики МИАН»;

присвоить звание «Лауреат золотой медали за выдающиеся достижения в области пропаганды научных знаний в номинации «Информационно-телекоммуникационные системы» за 2017 г.» кандидату физико-математических наук **Николаю Николаевичу Андрееву**, доктору физико-математических наук **Николаю Петровичу Долбину**, кандидату физико-математических наук **Павлу Александровичу Кожевникову**, кандидату физико-математических наук **Никите Михайловичу Панюнину** (Математический институт им. В.А. Стеклова РАН) за работу «Проекты Лаборатории популяризации и пропаганды математики МИАН»;

присвоить звание «Лауреат золотой медали за выдающиеся достижения в области пропаганды научных знаний в номинации «Науки о жизни» за

2017 г.» доктору биологических наук **Татьяне Владимировне Черниговской** (Санкт-Петербургский государственный университет) за телепроект и публичные лекции на тему «Мозг, язык, сознание»;

присвоить звание «Лауреат золотой медали за выдающиеся достижения в области пропаганды научных знаний в номинации «Рациональное природопользование» за 2017 г.» доктору сельскохозяйственных наук **Егору Яковлевичу Лебедько** (Брянский государственный аграрный университет) за цикл информационно-аналитических публикаций «Обобщение и пропаганда опыта разработки и внедрения инновационного импортозамещающего проекта производства «мраморной» говядины»;

присвоить звание «Лауреат золотой медали за выдающиеся достижения в области пропаганды научных знаний в номинации «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» за 2017 г.» доктору химических наук **Юрию Георгиевичу Чиркову** (Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН) за книги «Углеродородный человек» и «Карусель энергетики»;

присвоить звание «Лауреат золотой медали за выдающиеся достижения в области пропаганды научных знаний в номинации «Гуманитарные и общественные науки» за 2017 г.» доктору философских наук **Юлии Вадимовне Синеокой** (Институт философии РАН) за цикл открытых лекций и дискуссий «Анатомия философии: как работает текст».

Сдано в набор 17.02.2017 г.	Подписано к печати 27.03.2017 г.	Дата выхода в свет 25.05.2017 г.	Формат 60 × 88 <sup>1</sup> / <sub>8</sub>
Цифровая печать	Усл.печ.л. 00.0	Усл.кр.-отт. 1.6 тыс.	Уч.-изд.л. 00.0
	Тираж 000 экз.	Зак. 000	Цена свободная

Свидетельство о регистрации № 0110150 от 04.02.93 г. в Министерстве печати и информации Российской Федерации  
Учредители: Российская академия наук, Президиум РАН

Издатель: ФГУП «Издательство «Наука», 117997 Москва, Профсоюзная ул., 90  
Оригинал-макет подготовлен ФГУП «Издательство «Наука»  
Отпечатано в ФГУП «Издательство «Наука» (Типография «Наука»), 121099 Москва, Шубинский пер., 6