

СОДЕРЖАНИЕ

Том 88, номер 7, 2018

Обозрение

Г.К. Коротаев

Оперативная океанография — новая ветвь современной океанологической науки 579

П.А. Минакир, Н.Г. Джурка

Методологические основания пространственных исследований в экономике 589

Проблемы экологии

А.А. Саркисов, В.Л. Высоцкий

Ядерная авария на атомной подводной лодке в бухте Чажма.

Реконструкция событий и анализ последствий 599

Точка зрения

В.Ф. Писаренко

Понятие “вероятность” и трудности его интерпретации 619

Н.А. Махутов, А.И. Агеев, В.А. Золотарёв, Ф.О. Трунов

Академическая наука и обороноспособность — безальтернативная связка в интересах государства 625

Из рабочей тетради исследователя

А.И. Терехов

Библиометрический анализ публикаций в области полупроводниковых наноструктур 630

О.В. Бухарин

Адаптивные стратегии взаимодействия возбудителя и хозяина при инфекции 637

Этюды об учёных

Р.Н. Щербаков

Весёлая игра по разгадыванию тайн природы. *К 100-летию со дня рождения Р. Фейнмана* 644

М.Н. Ерохин

Творец агроинженерной науки. *К 150-летию со дня рождения почётного академика В.П. Горячкина* 650

Былое

Н.Л. Гиндилис

Академия наук в период перестройки 659

Официальный отдел

Президиум РАН решил. — Награды и премии 665

Большая золотая медаль имени М.В. Ломоносова Российской академии наук 2017 года 671

CONTENTS

Vol. 88, No. 7, 2018

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

Review

G.K. Korotaev

Operational Oceanography – a New Branch of Modern Oceanology 579

P.A. Minakir, N.G. Jurca

Methodological Foundations of Spatial Researches in Economics 589

Problems of Ecology

A.A. Sarkisov, V.L. Vysotsky

Nuclear Accident on an Atomic Submarine in the Bay of Chazhma.
Event Reconstruction and Impact Analysis 599

Point of View

V.F. Pisarenko

The Concept of “Probability” and Difficulties of its Interpretation 619

N.A. Makhutov, A.I. Ageev, V.A. Zolotarev, F.O. Trunov

Academic Science and Defensive Capacity is a non-Alternative Link in the Interests of the State 625

From the Researcher’s Notebook

A.I. Terekhov

Bibliometric Analysis of Publications in the Field of Semiconductor Nanostructures 630

O.V. Bukharin

Adaptive Strategies of Pathogen–Host Interaction in Case of Infection 637

Profiles

R.N. Shcherbakov

A Fun Game to Unravel the Mysteries of Nature. *To the 100th Anniversary of the Birth of R. Feynman* 644

M.N. Yerokhin

Creator of Agroengineering Science. *To the 150th Anniversary of the Birth of Honorary Academician V.P. Goryachkin* 650

Bygone Times

N.L. Gindilis

Academy of Sciences in the Period of Perestroika 659

Official Section

Decisions of the RAS Presidium. Awards and Prizes 665

Big gold medal named after M.V. Lomonosov of the Russian Academy of Sciences 2017 671

ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОГРАФИЯ – НОВАЯ ВЕТВЬ СОВРЕМЕННОЙ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ

© 2018 г. Г.К. Коротаев

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, Россия

E-mail: korotaevgren@mail.ru

Поступила в редакцию 31.01.2018 г.

В статье анализируется состояние исследований в области оперативной океанографии в ведущих странах мира, перспективы и возможные пути интенсификации этого направления в России. Рассматривается история формирования основ и принципов оперативного мониторинга океана в 1970–1980-е годы в СССР, показывается лидерство советских океанологов в этом процессе. Дается обзор развития системы оперативного мониторинга океана и его морей и основных оперативных систем морских прогнозов. Подробно описывается структура Черноморского центра морских прогнозов, созданного в Морском гидрофизическом институте РАН в соответствии с европейскими стандартами, и обсуждаются перспективы развития отечественных систем морских прогнозов.

Ключевые слова: оперативная океанография, оперативные прогнозы, мониторинг океана, вихре-разрешающие модели циркуляции океана, ассимиляция наблюдений.

DOI: 10.31857/S086958730000081-7

Глобализация человеческой деятельности в современных условиях сопровождается повышением зависимости экономики от различных природных явлений (аномалии климата, катастрофические погодные процессы, такие как наводнения, засухи и др.) и состояния окружающей среды (ухудшение качества питания и жизненной среды в целом и т.д.). Одновременно становится всё более существенной антропогенная нагрузка на окружающую среду, вызывающая нарушение естественного равновесия природных процессов и усиление негативных для человека последствий. Влияние человека обуславливает значительные изменения морских экосистем, проявляющиеся в привнесении новых видов, количественных и качественных нарушениях циклов обращения питательных веществ, которые катастрофически меняют естественно сложивший-

ся баланс. Результатом человеческой деятельности оказывается сокращение промыслового лова рыбы и биоразнообразия морской фауны. Промышленная эксплуатация шельфа моря, его использование для добычи и транспортировки нефти и газа с неизбежностью приводят к возрастанию вероятности крупных катастроф с непоправимым ущербом рекреационным и биологическим ресурсам моря. Поэтому интенсификация промышленного освоения океана должна сопровождаться совершенствованием систем контроля состояния морской среды. При минимальных затратах такие системы обеспечивают принятие управленческих решений своевременной информацией для корректировки действующих и обоснования будущих хозяйственных проектов. Надёжная информация помогает избегать не только катастроф, но и оптимизировать производственные затраты. Умение контролировать и прогнозировать состояние морской среды позволяет повысить эффективность операций на море и предотвратить негативные последствия хозяйственной деятельности.

Откликом на запросы потребителей, связанные с использованием морских ресурсов, стало развитие систем оперативных наблюдений и морских оперативных прогнозов, основанных на ассимиляции доступных наблюдений в моделях океанической циркуляции. Исследования в этих направлениях составляют предмет оперативной океанографии – новой ветви океанологической



КОРОТАЕВ Геннадий Константинович – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, научный руководитель МГИ РАН.

науки. Она концептуально сформировалась в конце 1980-х — начале 1990-х годов и бурно развивается в настоящее время.

В данной работе анализируются состояние исследований в области оперативной океанографии в ведущих странах мира и перспективы её развития в России. В первом разделе обсуждается роль советских океанологов в создании основ и принципов оперативного мониторинга океана; во втором — описано развитие системы оперативного мониторинга и прогноза Мирового океана и его морей; в третьем — подробно представлена структура Черноморского центра морских прогнозов, созданного в соответствии с европейскими стандартами; в четвёртом — рассматриваются перспективы развития систем морских прогнозов в России; в пятом — возможные пути интенсификации отечественных исследований в области оперативной океанографии. В заключении определяются потенциальные потребители продуктов оперативной океанографии.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ОКЕАНА В СССР

В 1970–1980-е годы исследования советских океанологов разворачивались на переднем крае науки. Сама необходимость развития оперативной океанографии как отдельного раздела науки неразрывно связана с обнаружением советскими учёными интенсивной синоптической изменчивости открытого океана: было показано, что текущее состояние океана значительно отличается от многолетнего среднего [1]. Поэтому для обеспечения потребностей человеческой деятельности необходимо непрерывно контролировать состояние морской среды.

Важным вкладом в развитие эффективной методологии непрерывного мониторинга состояния морской среды стали исследования советских учёных в рамках советско-американского эксперимента “Полимод” в середине 1970-х годов. На основании данных регулярного мониторинга гидрологических характеристик морской среды с разрешением синоптических процессов на полигоне размером 500×500 км в западной Атлантике [2] впервые удалось продемонстрировать возможность восстановления непрерывной эволюции трёхмерных полей океана посредством синтеза данных наблюдений и численных расчётов [3].

Идеология непрерывного мониторинга океана, опирающаяся на сочетание численного моделирования и наблюдений, послужила фундаментом программы “Разрезы” [4]. Эта программа выполнялась в СССР в 1980–1990-е годы и была нацелена на оценку роли Мирового океана в формировании короткопериодных колебаний климата. В основе программы лежала разработанная академиком Г.И. Марчуком концепция энергоактивных зон

океана (ЭАЗО) [5], которые вносят наибольший вклад в климатические изменения на временных масштабах от сезона до нескольких лет. Учитывая важное климатическое значение ЭАЗО, именно в них первоначально была сосредоточена основная наблюдательная часть программы “Разрезы”. С точки зрения объёма судовых работ в акваториях Мирового океана, программа “Разрезы” имела беспрецедентный в истории отечественной и мировой науки размах.

Начало реализации программы “Разрезы” совпало с развитием в СССР спутниковой океанологии [6]. Успешный эксперимент с первым советским океанографическим искусственным спутником Земли (ИСЗ) “Космос-1151” дал основание рассматривать спутниковую компоненту как важнейший элемент наблюдательной системы программы “Разрезы” [7]. В середине 1980-х годов в рамках проекта ГКНТ “ТПО-0,5” были подготовлены предложения о создании многоканального измерительного комплекса ИК- и СВЧ-диапазонов для всепогодного восстановления по измерениям с ИСЗ температуры поверхности океана (ТПО) с точностью не хуже $0,5^\circ\text{C}$, готовился к запуску отечественный альтиметр и цветовой сканер разработки ГДР по программе “Интеркосмос”. Планировалось также расширить судовую наблюдательную программу, для чего был создан зондирующий STD-комплекс “Минизонд” (измеряющий электропроводимость, температуру и давление). Он позволял проводить измерения температуры и солёности морской воды на ходу судна до глубин около 800 м и дополнить наблюдения в ЭАЗО попутными гидрологическими измерениями на разрезах, пересекающих океан.

Особое внимание в программе “Разрезы” уделялось совершенствованию численных моделей циркуляции океана и развитию методов ассимиляции контактных и спутниковых измерений [8]. В результате исследований была сформулирована и частично апробирована концепция мониторинга океана на основе симбиоза моделей и наблюдений [9]. По аналогии с метеорологическими прогнозами применение численных моделей циркуляции океана в совокупности с данными наблюдений обеспечивает получение достоверной информации о состоянии морской среды в любой точке Мирового океана и прогнозирование её изменения, одновременно снижая затраты на поддержание наблюдательной сети.

Параллельно с реализацией программы “Разрезы” на Чёрном море разрабатывался прототип системы диагноза и прогноза состояния Мирового океана. Чёрное море в то время рассматривалось как контрольно-калибровочный подспутниковый полигон для отработки методов дистанционного зондирования океана, и выполнявшиеся спутниковые и подспутниковые наблюдения использовались для верификации моделей циркуляции и методов ассимиляции. В поддержку программ дистанци-

онного зондирования океана из космоса в 1985 г. Морской гидрофизический институт АН СССР и Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова организовали на Чёрном море комплексную межведомственную экспедицию, в которой участвовало до 10 судов [10]. В течение трёх месяцев этими судами были выполнены три гидрологические съёмки всего бассейна с шагом сетки, позволявшим картировать синоптические процессы. Результаты съёмок использовались для настройки модели циркуляции Чёрного моря и алгоритмов ассимиляции гидрологических наблюдений [11]. В то же время был получен первый опыт создания системы прогноза полей Чёрного моря [12].

Таким образом, к началу 1990-х годов в СССР были заложены основы того направления, которое впоследствии стало называться оперативной океанографией, и научные центры Академии наук и Государственной гидрометеорологической службы СССР оказались идеологически готовы к созданию системы анализа и прогноза полей Мирового океана.

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА МИРОВОГО ОКЕАНА И ЕГО МОРЕЙ

В значительной степени под влиянием успехов программы “Разрезы” аналогичные программы глобального мониторинга океана начали развиваться в других странах [13]. В начале 1990-х годов появились публикации, в которых обосновывались состав оперативной океанической наблюдательной системы и ориентация на создание глобальных прогнозистических моделей циркуляции океана, ассимилирующих наблюдения оперативной сети [14, 15]. К этому моменту уже получили широкое распространение оперативные наблюдения океана с ИСЗ и автономные контактные наблюдения со свободно дрейфующих платформ с передачей данных через ИСЗ в реальном времени [16, 17]. В итоге появилась возможность систематически наблюдать основные типы изменчивости полей океана, и с начала 2000-х годов начала функционировать современная глобальная оперативная система мониторинга океана [18], развитие которой с 1990-х годов поддерживалось Межправительственной океанографической комиссией (МОК) ЮНЕСКО в рамках проекта Global Ocean Observing System (GOOS).

Для прогнозирования состояния морской среды основными являются спутниковые наблюдения уровня моря (с помощью высокоточных альтиметров), ТПО, характеристик ледяного покрова, приводного ветра и цвета моря. В последнее время стали доступными также наблюдения с ИСЗ солёности поверхностного слоя моря. Наибольшее значение сре-

ди оперативных контактных измерений имеют профили температуры и солёности моря, определяемые с помощью буёв – профиломеров программы “АРГО”, и наблюдения ТПО и скорости течений или профилей температуры в приповерхностном слое моря с помощью дрейфтеров. Оперативные наблюдения ретранслируются через ИСЗ в центры обработки и распространения информации заинтересованным пользователям.

Параллельно с развитием оперативной наблюдательной системы в конце 1990-х годов был подготовлен международный проект GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment), его цель – демонстрация возможности и полезности анализа и прогноза полей Мирового океана в реальном масштабе времени [19]. Поставленная проблема является междисциплинарной, а потому потребовала объединения усилий специалистов из разных областей науки, представлявших академические и гидрометеорологические организации из семи стран. В рамках проекта, продолжавшегося в течение 10 лет, было показано, что численные вихреразрешающие модели циркуляции позволяют достоверно воспроизводить изменчивость полей Мирового океана на энергонесущих масштабах. Практически важным результатом стала демонстрация возможности воспроизведения текущего состояния океана с достаточной для широкого круга потребителей точностью.

Успешное выполнение работ по проекту GODAE заложило основы создания оперативных систем морского анализа и прогноза, аналогичных метеорологическим прогнозам погоды в ряде развитых стран [20] и охватывающих не только Мировой океан, но и окраинные и внутренние моря. Наиболее развитой в настоящее время считается Морская служба программы “Коперникус” Европейской комиссии (Copernicus Marine Environmental Monitoring Service), которая готовит прогнозы состояния Мирового океана в целом, Арктического бассейна, окраинных и внутренних морей Европы [21]. Созданная система прогнозов функционирует в рутинном режиме, распространяя свои продукты через сайт (<http://marine.copernicus.eu/>). В число продуктов входят непосредственно данные контактных наблюдений, а также поля или параметры, восстановленные в результате обработки дистанционных измерений. Кроме того, предоставляются анализы и прогнозы отдельных параметров поверхностного волнения, трёхмерных полей температуры, солёности, скорости течений и характеристик экосистемы в любой точке Мирового океана, включая Арктический бассейн и моря Европы.

Морская служба программы “Коперникус” состоит из четырёх тематических центров и семи центров мониторинга и прогноза. Тематические центры накапливают наблюдения и производят на их основе необходимые пользователям продукты, в том числе обеспечивая работу центров

морских прогнозов. Тематические центры находятся в разных странах Евросоюза. Каждый из них не сосредоточен в одном месте, а основан на синхронизированной деятельности различных национальных групп. Семью центрами мониторинга и прогноза являются центры Мирового океана, Северного Ледовитого океана, Балтийского моря, Северо-западного шельфа Европы, включая Северное и Ирландское моря, Иберо-Бискайского региона, Средиземного и Чёрного морей. Так же, как и тематические центры, они представляют собой распределённые структуры, размещённые в разных странах Евросоюза. Прогноз состояния морской среды даётся на 10 дней в соответствии с продолжительностью прогнозов погоды ESMWF. Граничные условия на жидких границах для региональных подсистем предоставляет Центр мониторинга и прогноза Мирового океана [22].

Результаты анализов и прогнозов максимально унифицированы, включая форматы данных. Каждый центр имеет цикл верификации используемых данных и модуль оперативной валидации продуктов, что позволяет осуществлять постоянный контроль точности анализов и прогнозов. Достижение высокого качества продуктов подавляющего большинства прогностических систем, особенно относящихся к глубоководным районам, обеспечивается ассимиляцией всех доступных наблюдений, поставляемых тематическими центрами.

Высококачественные регулярные прогнозы состояния Мирового океана в целом и его отдельных морей, в том числе и морей России, разрабатываются и в США благодаря Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO). Прогнозы основаны на модели HYCOM, которая ассимилирует примерно тот же набор измерений, что и Морская служба программы “Коперникус” [23]. Современный глобальный прогноз обеспечивают также метеослужба Великобритании (MetOffice, UK) и центр прогнозов в КНР (National Marine Environmental Forecasting Center – NMEFC, State Oceanographic Administration, China) [24], региональные прогнозы реализуются центрами в Австралии, Индии, Бразилии и других странах.

Отметим, что качество прогнозов довольно высоко в умеренных широтах Мирового океана, где создана эффективная наблюдательная сеть. Однако в силу ограниченности наблюдательной сети и географических и гидрологических особенностей Арктического бассейна точность анализов и прогнозов в Арктике не столь высока. В ближайшее время планируется реализация ряда международных проектов, специально ориентированных на повышение точности как метеорологических, так и морских прогнозов в Арктике.

ЧЕРНОМОРСКИЙ ЦЕНТР МОРСКИХ ПРОГНОЗОВ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ “МОЙ ОКЕАН”

Единственный в России центр мониторинга и прогноза, соответствующий мировым стандартам, функционирует в Морском гидрофизическом институте (МГИ) РАН – Черноморский центр мониторинга и прогноза. Он был создан при проведении исследований в рамках проектов Европейской комиссии “Мой Океан 1, 2” и призван был стать элементом Морской службы программы “Коперникус”, однако после вхождения Крыма в Россию Европейская Комиссия не продолжила сотрудничество с институтом. Тем не менее центр МГИ и поныне даёт ежедневные прогнозы состояния Чёрного моря [25]. Продукты центра свободно доступны для всех заинтересованных пользователей через Интернет. Разработка и совершенствование системы анализов и прогнозов были выполнены в полном соответствии со стандартами Морской службы программы “Коперникус”.

Черноморские прогнозы основаны на использовании четырёх математических моделей морской среды. Первая из них – разработанная в МГИ модель циркуляции моря [11]. На её основе выполняется анализ и прогноз уровня морской поверхности, температуры и солёности морской воды, а также скоростей течений. Вторая модель – созданная совместно с Институтом морских систем (Турция) модель экосистемы Чёрного моря [26]. Она используется для диагноза и прогноза полей концентрации нитратов и фитопланктона в морской воде, а это важнейшие показатели биологической продуктивности и экологического состояния морских бассейнов. Третья модель предназначена для диагноза поля коэффициента ослабления света в морской среде [27]. Производится также расчёт характеристик поверхностного волнения по модели SWAN [28].

Вихреразрешающая физическая модель Чёрного моря базируется на системе примитивных уравнений [11]. В модели учитываются аномалии уровня морской поверхности, сведения о которых поступают из тематического центра подготовки данных альтиметрических измерений SL TAC. Также моделью ассимилируются спутниковые измерения температуры поверхности моря, поступающие из тематического центра подготовки данных OSI TAC системы европейских центров морских прогнозов “Коперникус” (<http://marine.copernicus.eu/>), что позволяет скорректировать ошибки в данных о потоках тепла, получаемых из атмосферной модели. Для корректного учёта поглощения коротковолновой солнечной радиации в верхнем слое моря используется поле коэффициента диффузного ослабления света, полученное на основе диагностических расчётов.

Биооптическая модель Чёрного моря предназначена для диагностических расчётов коэффициента диффузного ослабления (КДО) света в морской воде. В основу алгоритма расчёта подводной облучённости положена модель Бедфордского института [27], модифицированная для описания особенностей поглощения и рассеяния света в Чёрном море основными оптически активными компонентами морской воды. Поля КДО рассчитываются для глубин от 0 до 75 м на тех же горизонтах, на которых выполняются расчёты по моделям циркуляции и биогеохимической модели. Временная изменчивость величин КДО относительно слабая, поэтому достаточно иметь поля КДО, осреднённые за предшествующую неделю.

Безотказное функционирование системы морских прогнозов основано на тщательном проектировании её структуры, а также достижении максимально возможного уровня автоматизации её работы, начиная от ввода данных, необходимых для выполнения прогнозов, собственно расчётов и до организации хранения конечных продуктов и их выдачи потребителям. Организация по модульному принципу в соответствии со стандартами европейской системы центров морских прогнозов “Коперникус” обеспечивает эффективность системы Черноморского центра морских прогнозов.

Визуализация результатов работы системы выполняется через интерактивный графический интерфейс Godiva2 — стандартный компонент THREDDS-сервера. Благодаря ему удаётся получать значение прогнозируемого параметра в любой точке акватории, визуализировать горизонтальные и вертикальные сечения, создавать анимации в заданных временных интервалах, строить временные ряды и вертикальные профили [25]. На сайте центра приводится информация о качестве анализов и прогнозов на основе работы модуля валидации. В соответствии с требованиями пользователей состав продуктов системы может быть легко расширен, например, в число продуктов включён анализ и прогноз трёхмерного распределения скорости звука в морской воде.

Универсальность структуры Черноморского центра морских прогнозов позволяет использовать имеющиеся наработки для создания национальной системы прогнозов Мирового океана, Арктического бассейна или любых окраинных морей России. Актуальным является наличие в системе прогнозов Чёрного моря модуля телескопизации, работающего в автоматическом режиме и способного обеспечивать граничными условиями прибрежные прогнозы.

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ МОРСКИХ ПРОГНОЗОВ В РОССИИ

Россия — морская держава: морская граница нашей страны превышает по протяжённости сухопут-

ную, освоение морских ресурсов — одна из приоритетных задач инновационного развития государства, а удалённые районы Мирового океана имеют стратегическое значение для возрождающегося флота России. Всё это говорит о важности развития оперативной океанографии и её потенциальной востребованности в ближайшем будущем.

Следует отметить, что, несмотря на все трудности развития отечественной науки в последние 20–25 лет, Россия имеет достаточный научный потенциал для создания оперативной системы анализа и прогноза состояния Мирового океана. Фундаментом такой системы может стать идеология морской службы программы “Коперникус”: глобальный прогноз российской системы, так же, как и в программе “Коперникус”, должен быть необходимым модулем, позволяющим контролировать воздействие Мирового океана на окраинные моря. В качестве отдельного модуля в системе должен присутствовать прогноз полей в Северном Ледовитом океане, важнейшем для развития экономики страны бассейне. В перспективе нужно разработать отдельные прогностические системы во всех окраинных и внутренних морях России, в которых сосредоточена хозяйственная деятельность. Наконец, для наиболее важных участков побережья страны должны быть созданы специализированные наблюдательные и прогностические системы, позволяющие контролировать высокочастотную изменчивость прибрежной и шельфовой зон.

В 2017 г. сделан первый шаг в построении описанной выше трёхуровневой системы. Российский научный фонд (РНФ) поддержал предложение коллектива специалистов МГИ РАН, Института вычислительной математики (ИВМ) РАН, Института океанологии (ИО) РАН и Гидрометцентра России о создании макета современной системы оперативного прогноза морской погоды в Мировом океане, Арктическом и Азово-Черноморском бассейнах в рамках проекта “Новые методы и суперкомпьютерные технологии анализа и прогноза Мирового океана и Арктического бассейна”. В основу разработки системы положены новые суперкомпьютерные технологии решения задач численного моделирования циркуляции вод морских бассейнов с разрешением синоптических процессов. Результаты предварительного тестирования моделей циркуляции вод Мирового океана и Азово-Черноморского бассейна представлены на рисунках 1 и 2. Макет системы будет реализован на кластере фирмы Sugon, приобретённом при поддержке РНФ и имеющем более 650 ядер. Архитектура системы позволит управлять большими объёмами данных, обеспечивая их накопление, хранение и обработку.

Высокое качество прогнозов будет достигнуто за счёт ассимиляции в численных прогностических моделях доступных контактных и дистанционных наблюдений, в том числе наблюдений температуры и солёности морской воды буями программы “АРГО” и спутниковых альтиметрических измере-

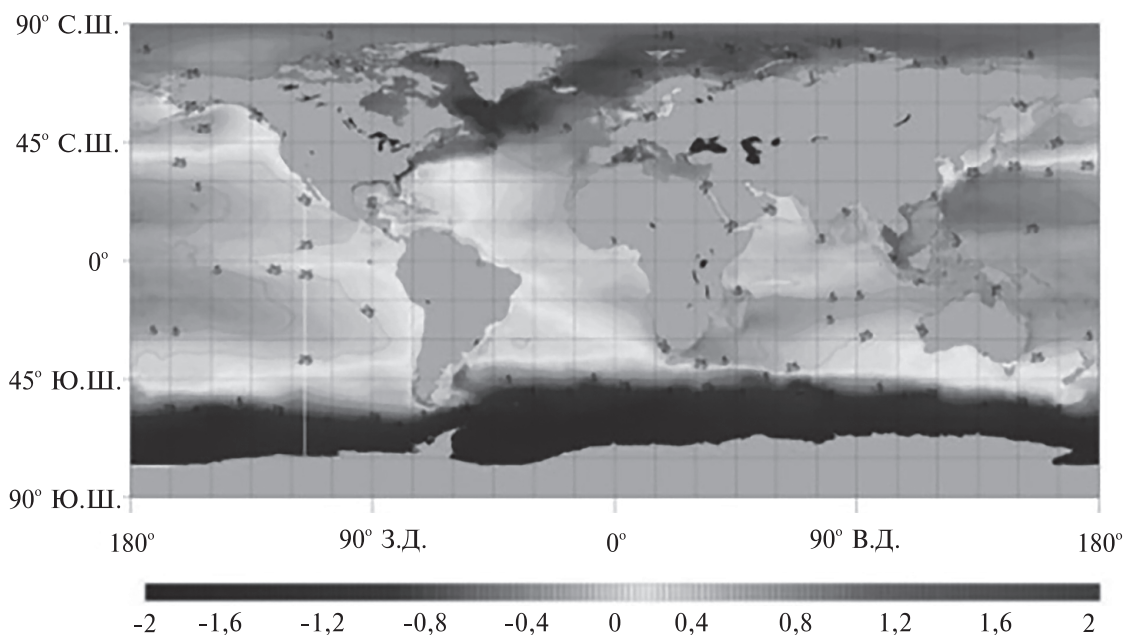


Рис. 1. Карта уровня поверхности океана (в метрах) на 5 февраля 1948 г. по результатам предварительного расчёта циркуляции Мирового океана по модели ИВМИО

Внизу приведена шкала значений уровенной поверхности

Источник: промежуточный отчёт по проекту РНФ, с разрешения Р.А. Ибраева

ний. Для подготовки анализов и прогнозов планируется использовать данные оперативного метеорологического прогноза Гидрометцентра России. Модуль системы, осуществляющий прогноз полей Мирового океана, в дополнение к своим прямым функциям будет обеспечивать необходимые граничные условия для расчёта циркуляции вод Арктического бассейна. Специальный блок системы будет проводить валидацию анализов и прогнозов посредством сопоставления с натурными данными.

Для прогнозирования полей Мирового океана и Арктического бассейна в системе используются оригинальные численные вихреразрешающие модели, разработанные в России. Прогноз Мирового океана будет основан на вихреразрешающей модели океанической циркуляции ИВМИО с пространственным разрешением в среднем около $0,1^\circ$ – совместной разработке ИВМ РАН и ИО РАН. Для исключения особенности, связанной со схождением меридианов на Северном полюсе, вместо сферических координат будет использоваться деформированная сетка с полюсом на суше.

Прогноз Арктического бассейна предполагается строить на базе модели общей циркуляции океана ИВММО, использующей по вертикали так называемую сигма-координату и являющейся единственной в мире глобальной сигма-моделью, применяемой для длительных расчётов, в том числе при моделировании климата. Оригинальные современные методы, разработанные и реализованные в ИВМ РАН, делают модель ИВММО подходящей для вихреразрешающего воспроизведения циркуляции Мирового океана и его отдельных акваторий. Модель будет реализована в акватории Арктики с пространственным разрешением в 4–5 км. Как модель ИВМИО, модель ИВММО должна иметь в своём составе модуль для расчёта динамики и термодинамики морского льда.

Прогноз циркуляции вод Азово-Черноморского бассейна будет основан на модели НЕМО, подготовленной сотрудниками МГИ РАН в рамках проекта MuOcean2 с целью дальнейшего использования в качестве основы Черноморского центра мониторинга и прогноза морской службы программы “Коперникус”. Адаптация модели для расчётов на кластере в режиме распараллеливания позволит достичь пространственного разрешения в 1–2 км. В отличие от действующей в рамках морской службы программы “Коперникус” модели прогнозов Чёрного моря в разрабатываемой системе будет обеспечиваться прогноз полей как Чёрного, так и Азовского морей.

Архитектура создаваемого макета системы базируется на структуре Черноморского центра мониторинга и прогноза и будет соответствовать общеευропейским стандартам. Систему планируется сделать полностью автоматизированной, включающей блок сбора и подготовки оперативной информации, блок расчётов, блок валидации и блок визуализации. Таким образом, все элементы создаваемого макета системы прогнозов отвечают современным требованиям мирового уровня. Оперативное функционирование макета системы позволит воспроизводить поля циркуляции и стратификации вод с высоким

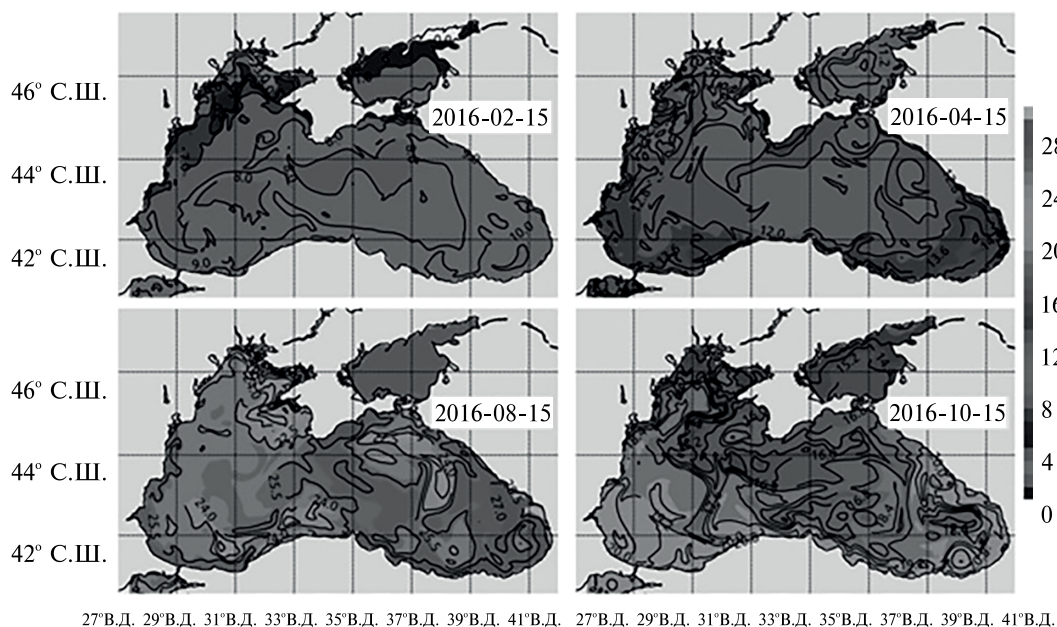


Рис. 2. Распределение температуры поверхности Чёрного, Азовского и Мраморного морей по результатам предварительного расчёта циркуляции вод по модели НЕМО

Справа приведена шкала температур. Для удобства отсчёта на некоторых изолиниях приведены значения температуры

Источник: промежуточный отчёт по проекту РНФ, с разрешения А.И. Мизюка

пространственно-временным разрешением и с наилучшей возможной точностью. В дальнейшем создаваемая система сможет обеспечивать граничными условиями системы прогноза гидрологических полей в окраинных и внутренних морях России и, возможно, в других критически важных для страны акваториях.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЗАДАЧИ РОССИЙСКОЙ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ

Как уже отмечалось, макет национальной системы морских прогнозов создаётся в основном на базе моделей и методов ассимиляции, разработанных российскими специалистами. Граничные условия на поверхности морских акваторий также будут задаваться на основе прогнозов Гидрометцентра России. Вместе с тем вклад нашей страны в накопление оперативных данных спутниковых и контактных наблюдений, которые впоследствии ассимилируются в моделях циркуляции, минимален, поэтому функционирование макета национальной системы морских прогнозов будет основываться на данных международной глобальной наблюдательной системы. В этом отношении представляется целесообразным расширить участие России в развитии всех компонентов оперативной наблюдательной системы, сконцентрировавшись на тех направлениях, где можно будет достичь лидирующих позиций либо

внести заметный вклад в поддержание международной наблюдательной сети.

Весьма перспективным представляется развитие программы по использованию наблюдений с радиолокаторов с синтезированием апертуры (РСА). Роскосмос в планах своих работ рассматривает возможность запуска радиолокатора с синтезированием апертуры, который будет проводить наблюдения, позволяющие восстанавливать матрицу рассеивания для всех комбинаций поляризации (подсистема “Арктика Р”, космическая система ДЗЗ СМОТР). Заявленные характеристики радиолокатора весьма интересны с точки зрения развития оперативной системы наблюдений океана из космоса, поскольку при проведении полных поляриметрических измерений, помимо характеристик ледяных полей, появляется возможность восстановления скорости поверхностных течений. Исследования должны показать, насколько эффективны РСА для проведения рутинных наблюдений течений. Однако, учитывая, что регулярные измерения скорости поверхностных течений на основе РСА будут иметь пространственное разрешение значительно лучшее, чем альтиметры, внедрение такой методологии могло бы существенно расширить диапазон масштабов процессов, воспроизводимых численными моделями циркуляции океана. Мониторинг скорости поверхностных течений с высоким разрешением особо актуален для Арктического бассейна, где радиус Россби, характеризующий масштаб наиболее интенсивных синоптических вихрей, существенно меньше, чем в умеренных широтах.

В настоящее время рядом ведущих российских океанологических центров разработаны такие платформы для проведения наблюдений, как поверхностные дрейфующие буи и буи-профилемеры. Благодаря этим платформам можно проводить измерения профилей температуры и солёности морской воды либо до больших глубин с помощью буёв-профилемеров, либо с повышенной частотой в верхнем слое моря с помощью термохалокос, установленных на дрейфтерах, а также скорости поверхностных течений по дрейфу дрейфтеров с парусом. Существующие разработки создают основу для активного участия в поддержании международной наблюдательной системы, что позволит с большим основанием пользоваться всей океанографической информацией открытого доступа. Кроме того, перечисленные выше наблюдения формируют базу региональных наблюдательных систем в незамерзающих окраинных и внутренних морях России. Ассимилируя данные региональных наблюдательных систем и используя граничные условия из системы глобальных прогнозов в окраинных морях, можно будет на основе описанных выше моделей циркуляции вод создавать высококачественные системы прогноза незамерзающих бассейнов.

Несколько более сложная ситуация складывается с морскими прогнозами в Арктике и морях, покрывающихся льдом. Весьма эффективным прибором для проведения измерений с ИСЗ является РСА, позволяющий картировать границы ледяных полей и отслеживать их дрейф. Могут быть модернизированы и использованы в ледовом исполнении также и описанные выше средства для проведения контактных наблюдений. Отдельные элементы наблюдательной системы в Арктике, основанные на разработках дрейфтеров ледового исполнения, уже развёрнуты Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом Росгидромета [29]. Весьма перспективным для целей наращивания отечественной наблюдательной компоненты в Арктике представляется создание ледовой версии предложенного ИО РАН зондирующего комплекса АКВАЛОГ [30]. В ряде организаций ведутся разработки таких высокотехнологичных средств наблюдений, как глайдеры, которые могут быть полезны для проведения измерений подо льдом. Совершенствование наблюдательной сети в Арктике и её развитие в морях, покрытых льдом, должно обеспечить качество прогнозов, превышающее достигнутый ныне международный уровень, и создать базу для высокоточных прогнозов во всех морях России.

Как уже отмечалось выше, значительная часть потребителей морских прогнозов заинтересована в надёжном контроле состояния морской среды в прибрежных районах. Поскольку энергонесущие процессы у побережья имеют малые временные и пространственные масштабы, созданная для открытого океана или моря наблюдательная система оказывается недостаточно эффективной и требует существенных дополнений. Общая концепция орга-

низации оперативных наблюдений для последующей их ассимиляции в моделях циркуляции вод состоит в комбинации измерений характеристик поверхностных процессов, гарантирующих хорошее пространственное покрытие, и более редких по пространству зондирований вертикальной структуры полей температуры и солёности морской воды. Данная концепция применяется и для организации наблюдений в прибрежной зоне моря. При этом альтиметрия, обеспечивающая картирование синоптической изменчивости открытого океана или моря, заменяется на радарные наблюдения поверхностных течений. Свободно дрейфующие платформы типа дрейфтеров и буёв-профилемеров также малополезны в прибрежной зоне, так как быстро её покидают. Вместо них эффективным с учётом малых глубин будет использование заякоренных термохалокос или зондирующих систем типа АКВАЛОГ. Представляется целесообразной отработка макета системы прибрежного мониторинга и прогноза, например, на хорошо обеспеченном наблюдениями полигоне ИО РАН вблизи Геленджика и затем её тиражирование в комплексе с моделью, ассимилирующей прибрежные наблюдения и использующей граничные условия на жидких границах из региональной или глобальной системы прогнозов. Отдельные исследования в этом направлении будут проведены в 2018–2020 гг. в рамках программы президиума РАН “Развитие методов и средств оперативной океанологии для исследований изменчивости полей Чёрного моря”.

* * *

В последние 30 лет океанологическая наука приобрела совершенно новое качество. Новейшие технологии наблюдений и современные вычислительные возможности позволяют непрерывно контролировать состояние Мирового океана в любой его точке с достаточно высокой точностью. Российское научное сообщество стояло у истоков развития методов и средств оперативной океанографии, однако его участие в их внедрении было довольно ограниченным. Вместе с тем в стране сохраняется высокий научный потенциал, а значит, возможность вернуть утраченные позиции. Эта задача первостепенной важности, поскольку развиваемые оперативной океанографией информационные технологии направлены на удовлетворение практических потребностей общества. Опыт эксплуатации Морской службы программы “Коперникус” показывает, что главными потребителями продуктов систем оперативного мониторинга и прогноза выступают службы прогноза климата и погоды, оффшорная индустрия, рыболовство, навигация, экологическая охрана, службы безопасности. Кроме того, получение обширной оперативной информации выводит на новый уровень научные океанологические исследования.

В реальном секторе экономики наибольший эффект от морских прогнозов получают оффшорная индустрия, рыболовство и навигация. В частности, использование результатов морских прогнозов оффшорной индустрией позволит обеспечить экологическую защищённость и безопасность промышленных проектов, что способствует повышению престижа компаний, занимающихся их реализацией.

Заинтересованными потребителями являются и аварийные службы контроля за загрязнением бассейнов, службы спасения при авариях на море, службы контроля качества воды. Мониторинг и прогноз состояния морской среды — основа информационного обеспечения, необходимого для эффективного, безопасного, рационального и ответственного использования и защиты морской окружающей среды, предсказаний климата и эффективного управления ресурсами моря.

Заинтересованность в морских прогнозах со стороны рекреационной индустрии объясняется открывающимися возможностями повысить уровень обслуживания туристов, предоставляя, например, информацию о качестве морской воды на пляжах, прогнозы температуры морской воды в зоне отдыха для его оптимизации, информацию о течениях и волнении для яхтинга, дайвинга и других видов активного отдыха [31].

Продукты оперативной океанологии, безусловно, востребованы Военно-морским флотом РФ: знание текущего состояния морской среды позволяет более эффективно решать ряд специальных задач, связанных с обнаружением боевых ресурсов противника и планированием операций.

Создание систем мониторинга и прогноза состояния морской среды во многом является откликом на возрастающее воздействие окружающей среды на общество. Прогнозирование состояния морской среды будет способствовать предотвращению и своевременному реагированию на кризисы, обусловленные естественными и техногенными рисками. Значимым оказывается вклад морских прогнозов в обеспечение безопасности при проведении гуманитарных, спасательных и миротворческих операций и операций сил быстрого развёртывания в кризисных зонах. На официальном сайте Национальной технологической инициативы (НТИ) ставится задача “обеспечить национальную безопасность, качество жизни людей, развитие отраслей нового технологического уклада”. Оперативная океанология должна стать одним из инструментов достижения этой цели.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 17-77-30001.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховских Л.М., Кошляков М.Н., Фёдоров К.Н. и др. Полигонный гидрофизический эксперимент в тропической зоне Атлантики // Доклады АН СССР. 1971. № 6. С. 1434–1439.
2. Нелено Б.А., Булгаков Н.П., Коротаев Г.К. Основные задачи и предварительные научные результаты первой экспедиции МГИ по международной программе “Полимоде” // Экспериментальные исследования по международной программе “Полимоде” (материалы 16 рейса НИС “Академик Вернадский”). Севастополь: СКТБ МГИ АН УССР, 1978. С. 5–12.
3. Кныш В.В., Моисеенко В.А., Саркисян А.С., Тимченко И.Е. Комплексное использование измерений на гидрофизических полигонах океана в четырёхмерном анализе // Доклады АН СССР. 1980. № 4. С. 832–836.
4. Марчук Г.И., Дымников В.П., Курбаткин Г.П., Саркисян А.С. Программа “Разрезы” и мониторинг Мирового океана // Метеорология и гидрология. 1984. № 8. С. 9–17.
5. Марчук Г.И., Скиба Ю.Н. Численный расчёт сопряжённой задачи для модели термического взаимодействия атмосферы с океаном и континентами // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1976. № 5. С. 459–469.
6. Нелено Б.А., Коротаев Г.К., Суетин В.С., Терехин Ю.В. Исследование океана из космоса. Киев: Наукова думка, 1985.
7. Дымников В.П., Коротаев Г.К., Галин В.Я. Требования к составу и к точности спутниковой информации в исследованиях по программе “Разрезы” // Итоги науки и техники. Серия: Атмосфера, океан, космос — Программа “Разрезы”. Т. 3. М.: ВИНТИ, 1984.
8. Численные модели и результаты калибровочных расчётов течений в Атлантическом океане: Атмосфера–океан–космос — Программа “Разрезы” / Под ред. А.С. Саркисяна, Ю.Л. Дёмина. М.: ИВМ, 1992.
9. Knysh V.V., Saenko O.A., Sarkisyan A.S. Method of Assimilation of Altimeter Data and its Test in the Tropical North Atlantic // Russ. Journal Numer. Anal. Math. Modelling. 1996. V. 11. № 5. P. 333–409.
10. Исследование и моделирование гидрофизических процессов в Чёрном море / Под ред. С.П. Левикова. М.: Гидрометеиздат, 1989.
11. Демьяшев С.Г., Коротаев Г.К. Численные эксперименты по четырёхмерному усвоению данных наблюдений в Чёрном море в июне 1984 г. на основе численной энергосбалансированной мо-

- дели // Морской гидрофизический журнал. 1992. № 3. С. 21–33.
12. *Нелено Б.А., Коротаев Г.К., Мановицкий В.Н.* Создание системы диагноза и прогноза состояния океана как актуальная проблема автоматизации океанологических исследований // Морской гидрофизический журнал. 1985. № 3. С. 44–49.
 13. *Thompson B.J., Crease J., Gould W.J.* The Origins, Development and Conduct of WOCE // *Ocean Circulation and Climate: Observing and Modelling the Global Ocean* / Ed. by G. Siedler, J. Church, W.J. Gould. International Geophysics Series. London: Academic Press, 2001. V. 77. P. 31–43.
 14. *Smith N.R.* The role of models in an ocean observing system. OOSDP background report, № 1. Joint CCCO-JSC Ocean Observing System Development Panel. College Station, Texas: Texas A&M University, 1991.
 15. *Smith N.R.* Ocean modelling in a global ocean observing system // *Rev. Geophys.* 1993. № 31. P. 281–317.
 16. *Niiler P.P., Davis R.E., White H.J.* Water-following Characteristics of a Mixed Layer Drifter // *Deep-Sea Research.* 1987. V. 34. № 11. P. 1867–1881.
 17. Argo Science Team. On the Design and Implementation of Argo: An Initial Plan for a Global Array of Profiling Floats. International CLIVAR Project. Office Report Number 2, GODAE Report № 5. Melbourne, Australia: GODAE International Project Office, 1998.
 18. *Dexter P., Summerhayes C.P.* Ocean Observations – the Global Ocean Observing System (GOOS) Troubled Waters: Ocean Science and Governance / Ed. by G. Holland. D. Pugh. Cambridge: CUP, 2010. P. 161–178.
 19. *Smith N., Lefebvre M.* The Global Ocean Data Assimilation Experiment (GODAE) // *Monitoring the oceans in the 2000s: an integrated approach. Proceedings International Symposium, Biarritz, France, October 15–17, 1997.*
 20. *Bell M.J., Lefebvre M., Le Traon P.-Y. et al.* GODAE: The Global Ocean Data Assimilation Experiment // *Oceanography.* 2009. V. 22(3). P. 14–21.
 21. *Schuckmann K., Traon P.-Y. L., Alvarez-Fanjul E. et al.* The Copernicus Marine Environment Monitoring Service Ocean State Report // *Journal of Operational Oceanography.* 2016. 9:sup 2. P. 235–320.
 22. *Tonani M., Alvarez Fanjul E., Bertino L. et al.* Main Achievements on My Ocean Global and Regional Prediction Systems // *Mercator Ocean Journal.* 2016. № 54. P. 26–32.
 23. *Metzger E.J., Smedstad O.M., Thoppil P.G. et al.* US Navy operational global ocean and Arctic ice prediction systems // *Oceanography.* 2014. V. 27(3). P. 32–43.
 24. 王辉, 万莉颖, 秦英豪, 王毅, 杨学联, 刘洋, 邢建勇, 陈莉, 王彰贵, 仇天宇, 刘桂梅, 杨清华, 吴湘玉, 刘钦燕, 王东晓. 中国全球业务化海洋学预报系统的发展和应用[J]. 地球科学进展. 2016. V. 31(10). P. 1090–1104.
 25. *Коротаев Г.К., Ратнер Ю.Б., Иванчик М.В. и др.* Оперативная система диагноза и прогноза гидрофизических характеристик Чёрного моря // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2016. № 5. С. 609–617.
 26. *Дорофеев В.Л., Коротаев Г.К., Сухих Л.И.* Исследование долговременной изменчивости полей Чёрного моря с использованием междисциплинарной физико-биогеохимической модели // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2013. № 6. С. 1–11.
 27. *Чурилова Т.Я., Суслин В.В., Сосик Х.М.* Спектральная модель подводной облучённости в Чёрном море // *Морской гидрофизический журнал.* 2009. № 6. С. 33–46.
 28. *Ратнер Ю.Б., Фомин В.В., Иванчик А.М., Иванчик М.В.* Система оперативного прогноза ветрового волнения Черноморского центра морских прогнозов // *Морской гидрофизический журнал.* 2017. № 5. С. 56–66.
 29. *Мотыжев С.В., Лунёв Е.Г., Толстошеев А.П.* Опыт применения автономных дрейфтеров в системе наблюдения ледовых полей и верхнего слоя океана в Арктике // *Морской гидрофизический журнал.* 2017. № 2(194). С. 54–68.
 30. *Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В. и др.* Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Чёрного моря // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2014. № 1. С. 16–29.
 31. Growing use of GMES across Europe's regions. Nereus, GMES, ESA, 2012.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭКОНОМИКЕ

© 2018 г. П.А. Минакир*, Н.Г. Джурка**

Институт экономических исследований ДВО РАН, Хабаровск, Россия

**E-mail: minakir@ecrin.ru*

***E-mail: zakharchenko@ecrin.ru*

Поступила в редакцию 13.12.2017 г.

В статье рассматриваются возможности распространения полученного в математике опыта изучения абстрактных пространств на область экономической науки. Предлагается концепция абстрактного экономического пространства, позволяющая вывести на новый операциональный уровень классификацию видов экономического пространства, разработанную в конце 1940-х годов Ф. Перру. Обсуждаются универсальные с методологической точки зрения способы упорядочивания когнитивных отображений пространства, даётся оценка возможностей их использования в рамках предлагаемой концепции. На основе одного из представленных способов, а также с привлечением системы различных геометрий анализируются сущностные вариации предмета исследований пространственной организации экономической деятельности. Представлена характеристика трёх выделенных Ф. Перру видов экономического пространства в контексте используемых для них формализаций: пространству, определённом плану, ставится в соответствие группа аффинных преобразований, пространству как силовому полю — группа условных проективных преобразований, пространству как гомогенному агрегату — группа топологических преобразований. Делается вывод о том, что принципиальное значение в пространстве первого вида имеет форма границ между элементами, в пространстве второго вида — кооперативная продуктивность элементов, в пространстве третьего вида — качество связей между элементами.

Ключевые слова: экономическое пространство, делокализация, геометрия, инварианты, аффинные преобразования, проективные преобразования, топологические преобразования.

DOI: 10.31857/S086958730000082-8

Разработка логически непротиворечивой методологической платформы исследований пространственной организации экономической деятельности остаётся одной из наименее разработанных областей



МИНАКИР Павел Александрович — академик РАН, научный руководитель ИЭИ ДВО РАН. ДЖУРКА Наталья Геннадьевна — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник ИЭИ ДВО РАН.

экономической теории и методологии, в том числе ввиду неоднозначности представлений о структуре объекта и содержании предмета исследований. Обзор этих представлений, выполненный в историческом контексте, то есть с учётом условий, в которых они формировались, может способствовать решению методологических вопросов, но, как показывает опыт (см., например, [1–6]), далеко не всех. Благодаря работам подобного рода сегодня развеяны сомнения в существовании объективных оснований множественности когнитивных отображений экономического пространства. Вместе с тем до сих пор обойдён вниманием вопрос о том, какова структура этого множества и, самое главное, каковы правила теоретической и экспериментальной работы с его отдельными компонентами. В настоящей статье предлагается *общая концепция абстрактного экономического пространства*, включая её аналитический аппарат, ориентированная на установление отношений между его различными отображениями и, соответственно, получение ответа на поставленный вопрос.

Предлагаемая авторами концепция основана на идее использования в экономическом анализе полученного в математике опыта изучения абстрактных пространств. Данную идею нельзя назвать абсолютно новой. Её можно обнаружить в отдельных теоретических исследованиях экономического пространства, в наиболее строгой форме — в работе Ф. Перру [7], принципиальные детали которой будут освещены ниже. Сегодня сложно оценить, эта ли именно идея привела к отказу использовать в прикладных разработках геометрию физического пространства, обязывающую рассматривать спрос и предложение исключительно как функции планарных форм. С определённой уверенностью можно лишь утверждать, что отмеченный факт говорит о необходимости дальнейшего теоретического осмысления возможностей применения абстрактных пространств в экономическом анализе.

Статья построена следующим образом. Предваряя изложение концепции абстрактного экономического пространства, мы рассмотрим универсальные с методологической точки зрения способы упорядочивания когнитивных отображений пространства и дадим оценку возможностей их использования. Затем будет обоснована идея, составляющая ядро предлагаемой концепции. При этом акцент делается на связи между видами экономических пространств и их формализациями, реализующейся прежде всего в существенных вариациях предмета исследований пространственной организации экономической деятельности. Используя один из представленных способов упорядочивания когнитивных отображений пространства, мы раскроем характер этой взаимосвязи и тем самым определим структуру множества существующих отображений экономического пространства.

КОГНИТИВНЫЕ ОТОБРАЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВА: СПОСОБЫ УПОРЯДОЧИВАНИЯ

Пространство является организующим понятием для многих наук. Каноническое представление пространства в содержательных границах той или иной науки предполагает некий порядок в многообразии имеющихся подходов к определению и описанию его содержания, свойств и закономерностей функционирования. Установление этого порядка возможно различными способами. Первый — упорядочивание различных подходов по шкале “от конкретного к абстрактному” и выбор того из них, который в наибольшей степени отвечает целям проводимого исследования, — равноценен признанию не только существования альтернативных подходов, но и отсутствия у каждого из них естественных, имеющих отношение к реальному положению дел оснований. Тем самым первый способ фактиче-

ски соответствует традиции конвенционализма, наиболее ярко заявившей о себе в геометрии в период открытия неевклидовых пространств. А.Д. Александров [8, с. 284–286] противопоставлял конвенциональной геометрии, привязанной к чему-то условно выбранному (системе координат, способу определения расстояния и т.п.), естественную геометрию, которая не имеет подобной привязки, а потому отражает пространственные отношения так, как они существуют в природе.

Второй способ заключается в разработке системы взаимно непротиворечивых аксиом. Из неё можно регулярно выводить важнейшие общие характеристики и законы взаимодействия в пространстве. Данный способ в середине XX столетия был выбран в математической географии применительно, конечно, к задачам, решения которых имели конкретные пространственные воплощения (то есть при всей абстрактности логических построений речь не шла об исследованиях многообразий произвольного числа измерений). Попытки аксиоматизации географии оказались весьма плодотворными и увенчались успехом в разработке отдельных теорий и концепций, раскрывающих законы развития пространственных структур и их морфологии [9–11], а также принципы картографических проекций [12]. Тем не менее процесс аксиоматизации географии далёк от завершения, в том числе по причине отсутствия сегодня апологетов математической географии.

Третий способ — систематизация существующих исследовательских подходов — предполагает не просто их упорядочивание по каким-либо критериям, а установление взаимосвязей (переходов) между ними. Этот способ подобен тому, что использовал Ф. Клейн при построении концепции единства геометрий [13]: в основе этой концепции лежит идея применения понятий теории групп для классификации пространственных соотношений. Третий способ предполагает инициализацию поиска так называемых инвариантов или свойств элементов пространства, остающихся неизменными при определённого рода преобразованиях (деформациях) пространства.

Каждый из названных способов может претендовать на право служить теоретической канвой исследований, имеющих пространственный аспект. Конкретный выбор в конечном счёте зависит от характера и полноты представлений о предмете науки, от степени и глубины его теоретического и экспериментального осмысления. Первый способ соответствует ситуации, когда найдены альтернативные интерпретации предмета, но при этом не существует понимания органических связей между ними. Второй используется при накоплении критической массы узкоспециализированных исследований, что воспринимается как признак возможности перехода от количества к качеству. В условиях признанной с

учётом определённых соображений равноправности альтернативных интерпретаций предмета, обязательно разработанных аксиоматически, актуальным становится третий способ упорядочивания исследовательских подходов.

**ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО,
“ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ КОНФЛИКТ”
И ЕГО ФОРМАЛИЗАЦИИ
В ИССЛЕДОВАНИЯХ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

В экономической науке роль пространства как одного из организующих понятий не отрицается, но при этом с методологической точки зрения практически не обсуждается. Вместе с тем история исследований пространственной организации экономической деятельности насчитывает свыше 200 лет. Наиболее очевидное обобщение появившихся за этот период когнитивных отображений специфического экономического пространства — зависимость особенностей трансформации экономического пространства от свойств и масштабов пространства физического [5, с. 228–235, 248–251; 14, с. 4].

Впервые основополагающую для исследований пространственной организации экономической деятельности идею о недопустимости отождествления физического и экономического пространств, об абстрактности последнего сформулировал Ф. Перру [7]. Конечно, и ранее в экономический анализ вводились такие идеальные пространственные объекты, как, например, изолированное государство [15]. Но именно Ф. Перру поставил общую задачу — определить абстрактные пространства в экономике со строгостью, свойственной математике и физике, и благодаря распространению концепции абстрактных пространств на область экономической науки получить интерпретации феноменов, связанных с “бесчисленными актами делокализации экономической деятельности” [7, р. 91], представления о которых отсутствуют или искажены.

Феномены *делокализации экономической деятельности*, на которые указывает Перру, в сущности, являют собой результат взаимодействия сил: одна их часть направлена на концентрацию, другая — на рассредоточение экономической деятельности. Это взаимодействие мы предлагаем рассматривать в качестве универсального предмета исследований пространственной организации экономической деятельности и будем далее использовать для него термин “фундаментальный конфликт”.

К первой группе относятся силы, генерирующие преимущества от увеличения масштабов производства и образования агломераций; благодаря их действию физическое пространство сжимается

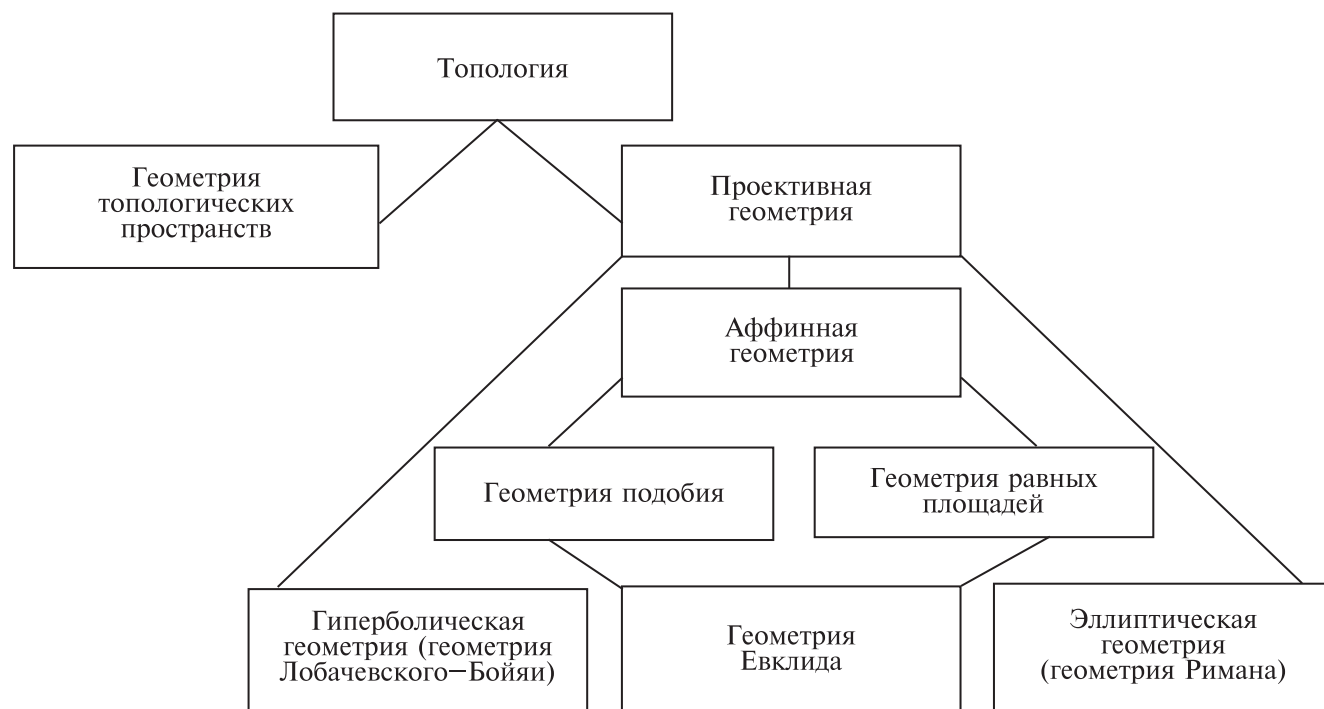
и формируются локальные пространственные множества экономических агентов. Ко второй группе относятся силы, нивелирующие препятствия для осуществления экономической деятельности, которые возникают вследствие роста разногласий между экономическими агентами; их действие приводит к расширению физического пространства и формированию интегрированных пространственных множеств экономических агентов.

При определении экономического пространства важно в равной степени понимать и то, какие его виды существуют, и то, какие формализации фундаментального конфликта соответствуют этим видам. Виды экономических пространств, выделенные, обоснованные и экспериментально описанные Перру, дают вполне удовлетворительную характеристику структуры объекта исследований пространственной организации экономической деятельности. С учётом этого для целей упорядочивания имеющихся когнитивных отображений экономического пространства на основе одного из представленных выше способов следует сконцентрироваться именно на формализациях фундаментального конфликта, что будет более продуктивным.

Классификация видов экономических пространств Ф. Перру различает пространство, определённое планом, пространство как силовое поле и пространство как гомогенный агрегат [7, р. 93]. Отсутствие явного классификационного критерия не позволяет оценить степень компактности предложенной Перру классификации, возможности её расширения и модификации, наличие которых обсуждается в литературе, правда, также без критерияльных обоснований [4, 16]. Поэтому идея дальнейшего анализа заключается в том, чтобы роль недостающего критерия возложить на формализации фундаментального конфликта в непосредственной связи с его сущностными вариациями.

Под *формализацией фундаментального конфликта* будем понимать определённый тип структуры абстрактных связей между элементами экономического пространства — совокупностями (подмножествами) экономических агентов, специфической природой которых является участие в процессах производства, обмена и потребления (далее используется также термин “тип пространственной структуры”). Для того чтобы различные формализации фундаментального конфликта могли служить критерием в классификации видов экономических пространств, необходимо использовать для этих формализаций один язык. Естественный выбор в данном случае — геометрия.

Длительное время единственным языком пространственных структур считалась евклидова геометрия. К настоящему времени разработано целое семейство различного рода геометрий, альтернативных евклидовой, каждая из них имеет свою сферу приложений. Ф. Клейном установлены свя-



Соотношения между различными геометриями
 Источник: [17, с. 194].

зи между геометриями [13], которые схематично отражены на рисунке. Детали различных геометрий и особенности связей между ними описаны, в частности, в работах Д. Гильберта [18], М. Камацу [19], В.В. Прасолова и В.М. Тихомирова [20]. В дальнейшем изложении будем исходить из предположения об универсальности приведённой системы геометрий, подходящей в том числе для содержательного анализа экономического пространства.

Сегодня одни типы структур абстрактных связей между элементами экономического пространства описаны аксиоматически, другие известны, но ещё нуждаются в строгом определении, третьи остаются неизученными. При таком положении вещей третий способ построения обобщений – поиск инвариантов – представляется более продуктивным и имеющим большие основания для реализации по сравнению с двумя другими. Прежде чем его применить, введём вслед за Ф. Клейном два понятия – преобразования экономического пространства и группы таких преобразований. *Преобразованием экономического пространства* называется непротиворечивое, логически завершённое изменение связей между его элементами. Преобразования образуют группу, если вместе с любыми двумя преобразованиями из группы в неё входит и результат их последовательного применения. Будем полагать, что структура абстрактных связей между элементами экономического

пространства задана, если для связей определены группа преобразований и соответствующие этой группе инвариантные свойства элементов экономического пространства.

КОНЦЕПЦИЯ АБСТРАКТНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Многообразие пространственных структур в экономическом анализе и их простейшие типы. При рассмотрении пространственных структур, используемых в экономическом анализе, целесообразно делать акцент не на описание всего их многообразия – оно достаточно хорошо представлено в литературе, посвящённой конкретным экономическим и социальным пространственным образованиям, а на введении принципа, устанавливающего в этом многообразии некоторый порядок.

Выше отмечалось, что вводимый принцип основывается на использовании понятий группы преобразований и инвариантов группы, сыгравших решающую роль в создании концепции единства геометрий (языка пространственных структур и его разновидностей). При этом само отождествление экономических пространств с той или иной группой преобразований имеет смысл лишь в непосредственной связи с экономическими интерпретациями фундаментального конфликта. Иными словами, не инструментальные средства определяют понимание

основной проблемы исследований экономического пространства, а наоборот, — понимание основной проблемы определяет инструментальные средства, необходимые для её изучения. Кроме того, если предметом отдельных геометрий выступают наборы инвариантов, то предметом экономического анализа — закономерности проявлений инвариантов при последовательном выполнении преобразований из одной группы.

Первоочередная задача при описании пространственных структур и их упорядочивании заключается в выборе своеобразной точки отсчёта, то есть выделения простейших из этих структур. Таковыми будем считать структуры, содержательно связанные с геометрией физического пространства и определяемые на основе группы движений (так называемых изометрий) и группы аффинных преобразований.

Движения могут представляться различным образом — в зависимости от используемой геометрии. Например, в евклидовой геометрии движениями являются вращения, параллельные переносы, скользящие симметрии, в геометрии Римана — вращения пространства вокруг центра сферы, отражения относительно плоскостей. Однако с точки зрения экономического анализа, значение имеет лишь то, что при движениях сохраняются расстояния между двумя элементами пространства. Именно в силу постулата о неизменности расстояний простейшие структуры, определяемые группой движений, как таковые экономический анализ не интересуют. Преобразования экономического пространства, при которых сохраняются неизменными экономические расстояния, теоретически и практически бессодержательны. Напротив, вариация расстояний и её роль в формировании рыночных параметров и определении отраслевых технологий стали предметом первых исследований экономического пространства, обобщающих накопленный к моменту их появления массив эмпирических сведений.

Отсутствие в экономическом анализе пространственных структур, описываемых на основе группы движений, не отменяет значимости работы по уточнению трактовок расстояний¹. В рамках этих синтетических по своей природе изысканий, объединяющих усилия математиков, географов и экономистов, получены результаты, которые, не имея непосредственного отношения к теоретическим основам исследований экономического пространства, широко применяются и оказывают важное влияние на экспериментальные исследования в двух основных направлениях: первое — развитие картографических проекций, второе — синхронизация путей усложне-

ния понимания расстояний и путей развития самих пространственных структур.

Наиболее востребованными в экономическом анализе оказались простейшие пространственные структуры, определяемые на основе группы аффинных преобразований, которая следует по степени общности за группой движений. Группа аффинных преобразований используется практически во всех признанных классическими теориях размещения или пространственной организации хозяйства. Она играет роль первой ступени в генеральной классификации формализаций фундаментального конфликта в рамках общей концепции абстрактного экономического пространства. Соотношения пространственных структур, применяемых в экономическом анализе для определения выделенных Ф. Перру видов экономических пространств, отражены в таблице.

Аффинные преобразования. В экономическом пространстве, в котором действует группа аффинных преобразований, позиция отдельного элемента (его координаты) определяется тем, какое место в буквальном смысле он занимает по отношению к прочим элементам. Следовательно, связь между элементами устанавливается с ориентиром на их взаимное расположение (географическое соседство) и иерархию. Инвариантами группы аффинных преобразований, включающей, помимо изометрий, растяжения и сжатия, являются относительные расстояния, а также параллельность.

Общий вариант пространственной структуры, основанной на группе аффинных преобразований, а точнее, на её части — группе гомотетий, или преобразований подобия, представлен в работе А. Лёша [26]. Данный вариант характеризуется как общий потому, что учитывает взаимосвязи процессов производства и сбыта различных видов товаров и услуг, с одной стороны, и процессов формирования систем расселения и транспортных коммуникаций — с другой. Непременное условие использования в экономическом анализе группы гомотетий — однородность экономического пространства. В рамках планарных исследований это условие учитывается в предпосылках о существовании однородной, лишённой какого бы то ни было своеобразия равнины с едиными транспортными тарифами на единицу веса.

Ориентируясь на законы пространственной конкуренции, А. Лёш рассматривает взаимодействия в экономическом пространстве в контексте формирования пространственных квазимонополий. Трансформация связей между элементами экономического пространства, обусловленная, с формальной точки зрения, последовательными поворотами и растяжениями канонической формы рыночных зон, понимается, в сущности, как увеличение степени влияния *пространственных квазимонополий*. Тот факт, что при таком расширении в расчёт принимаются одновременно

¹ О результатах можно судить, обратившись не только к известным работам У. Айзарда [21, 22], В. Бунге [23], П. Хаггета [24], но и, например, к Энциклопедическому словарю расстояний, который был выпущен в честь М. Фреше и Ф. Хаусдорфа, предложивших и развивших концепцию абстрактных пространств как множеств элементов произвольной природы [25].

Таксономическая таблица пространственных структур, применяемых в экономическом анализе (от частного к общему)

Вид экономического пространства в соответствии с составленной Ф. Перру синоптической таблицей	Тип пространственной структуры		Характеристика позиций элементов в экономическом пространстве	Пример решения фундаментального конфликта
	группа преобразований экономического пространства	инварианты группы преобразований		
Пространство, определённое планом	Группа аффинных преобразований	Относительные расстояния и параллельность	Отношения взаимного расположения и подчинения	Границы и иерархия сетей рыночных зон, минимизирующие расстояния между населёнными пунктами и, соответственно, протяжённость транспортных путей, объёмы перевозок
Пространство как силовое поле (набор центров и место взаимодействия сил)	Группа проективных преобразований	Принадлежность вариантов согласованного развития элементов экономического пространства к Парето-эффективным	Отношения коалиционной продуктивности	Устойчивые к угрозам коалиционного блокирования распределения системных эффектов
Пространство как гомогенный агрегат	Группа топологических преобразований	Топологические инварианты (такие как связность и размерность)	Отношения бесконечной близости	Конфигурации элементов экономического пространства определённого порядка связности, соответствующие принципам и требованиям повышательной волны глобальной и национальной динамики

принципы снабжения, коммуникаций и администрирования, следует оценивать в качестве свидетельства возможности достижения содержательного компромисса между многомерностью экономического пространства и его планарными проекциями.

Аксиоматика пространственной структуры А. Лёша разрабатывалась в 1960–1970-е годы под руководством М.Ф. Дейси [27] и впоследствии уточнялась М. Сонисом [28]. В строгих описаниях данной структуры особое значение имеют три её геометрических свойства [29, р. 31]:

- рыночные зоны на одном уровне иерархии формируют гексагональное покрытие плоскости с центрами в вершинах равносторонней треугольной решётки;
- размер рыночной зоны увеличивается в соответствии с последовательностью значений параметра k , характеризующего степень влияния пространственных квазимонополий;
- центр рыночной зоны определённого размера является также центром зоны меньшего размера.

Структура с перечисленными свойствами, названная А. Лёшем экономическим ландшафтом, представляет собой суперпозицию всех возможных

покрытий плоскости шестиугольниками (всех возможных сетей рыночных зон товаров и услуг) с единым центром.

Условие постоянства относительных расстояний при аффинных преобразованиях экономического пространства приводит к ряду обобщений в части последовательности размеров рыночных зон и иерархии их сетей, а именно к построению этой последовательности на основе барицентрических расчётов параметра k : $k = x_2 + y_2 + x_1$, где x , y – произвольные целые числа, соответствующие барицентрическим координатам центров рыночных зон относительно условного базисного треугольника ($k = 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, \dots$).

Таким образом, при изучении пространственных структур, основанных на группе аффинных преобразований, фундаментальный конфликт между экономическими силами, направленными на концентрацию и рассредоточение, разрешается путём *фрагментации сетей абстрактных взаимосвязей*, то есть путём проведения границ между элементами экономического пространства.

Возможный отказ от рассмотрения экономического пространства как множества элементов, находящихся в отношениях взаимного расположения (географического соседства) и подчинения, приво-

дит к необходимости выбора альтернативных точек зрения на систему связей между элементами. Отношения между различными геометриями не могут служить непосредственной основой для осуществления такого выбора, поскольку его смысл — не столько предпочитаемая форма, сколько адекватность отображения экономического содержания связей.

Условные проективные преобразования. Увеличение степени общности решений фундаментального конфликта требует исключения чрезмерно сильного условия постоянства относительных расстояний. Тогда теряют смысл оценки формы границ, но не оценки кооперативной продуктивности элементов экономического пространства. В результате в экономическом анализе появляются пространства, в которых (при сохранении границ) позиция отдельного элемента определяется преимущественно его вкладом в генерирование системных эффектов, а связь между элементами — возможностями согласования их интересов при распределении системных эффектов.

Для формализованного описания подобных экономических пространств используются структуры, основанные на преобразованиях, которые представляют собой суперпозиции проектирований системных эффектов при “заключении коалиционных соглашений”. Сегодня отнесение указанных преобразований к какой-либо группе геометрических преобразований не находит строгой доказательной базы, её построение — предмет дальнейших исследований. Будем называть суперпозиции проектирований системных эффектов условными проективными преобразованиями, имеющими очевидные аналогии с группой проективных преобразований (см. табл.). Если в геометрии результатом проектирования является взаимно однозначное соответствие между двумя множествами точек, установленное из определённого центра, то в экономическом анализе результат условного проектирования — *взаимно однозначное соответствие между множествами вариантов развития экономической системы*.

Центр проектирования в экономическом анализе определяется углом зрения на возможности организации взаимодействий конкретных элементов экономического пространства. При последовательной смене центров проектирований, которая расширяет возможности взаимодействий, возникают суперпозиции проектирований.

В рамках группы проективных преобразований содержательная трансформация решений фундаментального конфликта опирается на обобщения изометрий (действующих не только в евклидовом пространстве, но также в пространствах Римана и Лобачевского) и аффинных преобразований. Таким образом, основанием выступает отказ от инвариантности как абсолютных, так и относительных расстояний. Принципиальное значение имеет сохранение коллинеарности (свойства точек располагаться на одной линии).

В контексте условных проективных преобразований коллинеарность понимается как принадлежность вариантов развития к Парето-эффективным состояниям. Последнее представляет собой характерную особенность подходов к решению фундаментального конфликта в рамках исследований системы межрегиональных взаимодействий, развитых в работах У. Айзарда [22], А.Г. Гранберга, В.И. Сулова, С.А. Суспицына [30] (см. также [31, 32]). В перечисленных работах получены основополагающие результаты в отношении пространственных структур, основанных на группе условных проективных преобразований. И сделано это благодаря представлению экономического пространства как системы межрегиональных взаимодействий, подчиняющейся законам, которые формализуются с помощью матричных моделей “затраты–выпуск”, прежде всего закону обеспечения структурного равновесия. Условные проективные преобразования экономического пространства, выполненные для различных объединений элементов (в данном случае — регионов), составляют последовательность, являющуюся замыкающим элементом логической цепочки поиска решений фундаментального конфликта. Для изучения влияния отдельных элементов экономического пространства и их объединений (коалиций) на потенциальные исходы процессов согласования вариантов развития авторы работ [22, 30–32] предложили использовать теорию кооперативных игр. Множества Парето-эффективных вариантов развития экономической системы, построенные на основе последовательности условных проективных преобразований, объединяются в такой теоретико-игровой конструкции, как характеристическая функция, ставящая в соответствие каждой коалиции множество векторов её возможностей (выигрышей).

Важнейшая черта описываемых формализаций — оперирование в отношении экономических пространств терминами не географического соседства, а кооперативной продуктивности их элементов. При этом в качестве элементов экономического пространства принимаются регионы (в современных российских реалиях — субъекты РФ), а в качестве границ — административные границы этих регионов. Подобный подход учитывает сложившиеся традиции пространственного анализа, его ориентацию на разработку управленческих решений и ограниченная информационного характера.

Правда, выбор объекта оказывается предметом постоянной критики. Эта критика была бы справедлива в случае рассмотрения аффинных преобразований. Но при переходе от аффинных к проективным преобразованиям оценка формы границ перестаёт быть критическим условием содержательности пространственного экономического анализа. Бессодер-

жительность — с точки зрения евклидовой или аффинной геометрии — выбора объекта исследований в действительности сыграла важнейшую роль в признании абстрактности экономических пространств и образующих их связей. Выбор объекта в контексте условных проективных преобразований существенно расширил границы пространственного анализа за счёт получения целого ряда фундаментальных результатов. Среди них — доказательство совпадения ядра кооперативной игры с ядром экономической системы и демонстрация применимости теорем о непустоте ядра кооперативной игры к изучению условий совместности требований элементов экономического пространства к согласованным вариантам развития. При оценке упомянутых результатов, разумеется, нельзя забывать не только о тех возможностях и преимуществах, которые они предоставляют, но и о тех компромиссах, которые они в себе содержат, прежде всего связанных со спецификацией целевых функций элементов экономического пространства и ссылками на возможность установления в рамках этой спецификации “правил поведения” рассматриваемых элементов.

Развитие пространственных структур, основанных на группе условных проективных преобразований, предполагает исследования в двух принципиально взаимосвязанных направлениях: первое — работа с многомерностью экономического пространства, второе — реализация в новом контексте представленных А. Лёшем возможностей упорядочивания многообразия связей в экономическом пространстве различных уровней декомпозиции².

Топологические преобразования. Обобщая сказанное выше, следует отметить, что существуют важные различия содержательного и методологического характера между исследованиями, опирающимися на формализации в контексте аффинных преобразований, и исследованиями, база которых — формализации в контексте проективных преобразований. Первые основаны на концепции размещения или пространственной организации хозяйства, вторые — на концепции межрегиональных взаимодействий. Однако различия столь несовпадающих по предметным областям исследований не носят антагонистического характера, напротив, между ними существует вполне конкретная взаимосвязь. Они представляют собой последовательные этапы решения фундаментального конфликта в рамках общей концепции абстрактного экономического пространства. Следующим этапом, согласно этой логике, должен стать отказ вообще от каких бы то ни было метрических свойств элементов экономического пространства и, строго говоря, даже от возможности установления расстояний между элементами. Это означает переход к использованию пространственных структур, определяемых с

помощью группы взаимно однозначных и взаимно непрерывных топологических преобразований и топологических инвариантов (см. табл.).

Использование пространственных структур, основанных на группе условных проективных преобразований, направлено на решение задач максимизации системных эффектов при ограничениях, существующих в национальном экономическом пространстве заданного уровня декомпозиции. Однако при этом вне поля зрения оказываются не менее, а возможно, и более важные задачи раскрытия механизмов возникновения самих этих ограничений и, соответственно, механизмов формирования системных эффектов. Именно связи между элементами, их качество и структура играют главную роль при решении фундаментального конфликта на основе топологических преобразований.

К настоящему моменту исследования экономических пространств и их топологических преобразований в контексте развития качественных представлений об экономических явлениях — скорее, исключение, чем норма [10; 34; 35, с. 250–258]. Их результаты в наименьшей степени детализированы и обобщены с точки зрения формальной основы экономических приложений. Однако можно предположить, что именно развитие этого направления исследований в силу общности разрабатываемого представления пространственной организации экономической деятельности окажется наиболее перспективным как с теоретической, так и с экспериментальной точки зрения.

* * *

Прогресс в области исследований пространственной организации экономической деятельности в значительной степени зависит от того, насколько скоро и качественно будет решена задача, поставленная Ф. Перру, — описать абстрактное экономическое пространство со строгостью, свойственной математике и физике, сохранив при этом содержательность экономических интерпретаций. В данной работе предложена концепция, позволяющая понять общую структуру этой задачи и установить соотношения между существующими отображениями экономического пространства. Различия последних рассмотрены в контексте вариации степени общности трактовки фундаментального конфликта и его формализаций. Для изучения указанных соотношений мы обратились к системе различных геометрий.

Было установлено, что:

- понятия группы преобразований и инвариантов группы могут служить общей платформой для исследований пространственной организации экономической деятельности;

² Подробнее о возможностях развития инструментария исследований многомерных экономических пространств см. в [33].

- формализации фундаментального конфликта, используемые для определения экономического пространства, характеризуются различным уровнем проработки — в общем случае, чем выше степень общности понимания фундаментального конфликта, тем менее разработанными являются его формализации;

- многомерность экономического пространства сегодня учитывается лишь в простейших формализациях (в простейших типах пространственных структур).

Следует подчеркнуть, что игнорирование соотношений между различными отображениями экономического пространства не приведёт к серьёзным проблемам содержательных интерпретаций в узкоспециализированных экономических исследованиях, имеющих пространственный аспект. Вместе с тем оно может препятствовать проведению междисциплинарных исследований экономического пространства, потребность в которых в настоящее время сомнений не вызывает, а также стать причиной необоснованной критики тех или иных подходов к определению экономического пространства (как в случае подхода, основанного на использовании группы условных проективных преобразований) или, напротив, необоснованных надежд на их универсальность.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Isard W.* The General Theory of Location and Space-Economy // *The Quarterly Journal of Economics*. 1949. V. 63. № 4. P. 476–506.
2. *Ponsard C.* History of Spatial Economic Theory. Berlin: Springer-Verlag, 1983.
3. *Anderson A.E., Johansson B.* Mathematical Models in Spatial Economics // *Mathematical Models in Economics* / Ed. by Wei-Bin Zhang. V. II. Oxford: EOLSS Publishers, 2009. P. 431–456.
4. *Минакир П.А., Демьяненко А.Н.* Пространственная экономика: эволюция подходов и методология // *Пространственная экономика*. 2010. № 2. С. 6–32.
5. *Минакир П.А., Демьяненко А.Н.* Очерки по пространственной экономике. Хабаровск: ИЭИ ДВО РАН, 2014.
6. *Key Thinkers on Space and Place* / Ed. by E. Hubbard, R. Kitchin. London: SAGE Publications Ltd, 2011.
7. *Perroux F.* Economic Space Theory and Application // *The Quarterly Journal of Economics*. 1950. V. 64. № 1. P. 89–104.
8. *Александров А.Д.* Основания геометрии. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1987.
9. *Schaefer F.K.* Exeptionalism in Geography: A Methodological Examination // *Annals of the Association of American Geographers*. 1953. V. 43. № 3. P. 226–249.
10. *Kansky K.* The Structure of Transport Networks: Relationships between Network Geography and Regional Characteristics / Research Paper № 84. Chicago: University of Chicago, 1963.
11. *Саушкин Ю.Г.* Географическая наука в прошлом, настоящем и будущем. М.: Просвещение, 1980.
12. *Tobler W.* Map Transformations of Geographic Space. Ph.D. Thesis. Department of Geography, University of Washington, 1961.
13. *Клейн Ф.* Сравнительное обозрение новейших геометрических исследований (“Эрлангенская программа”) // *Об основаниях геометрии. Сборник классических работ по геометрии Лобачевского и развитию её идей* / Пер. с нем. Д.М. Синцова. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. С. 399–434.
14. *Сжатие социально-экономического пространства: новое в теории регионального развития и практике его государственного регулирования* / Под ред. С.С. Артоболевского и Л.М. Синцера. М.: Эслан, 2010.
15. *Тюнен И.Г.* Изолированное государство / Пер. с нем. Е.А. Торнеус; под ред. А.А. Рыбникова. М.: Экономическая жизнь, 1926.
16. *Минакир П.А.* Экономический анализ и измерения в пространстве // *Пространственная экономика*. 2014. № 1. С. 12–39.
17. *Харвей Д.* Научное объяснение в географии / Сокр. пер. с англ. В.Я. Барласа, В.В. Голосова; под ред. Е.П. Никитина. М.: Прогресс, 1974.
18. *Гильберт Д.* Основания геометрии / Пер. с пятого немецкого издания; под ред. А.В. Васильева. Петроград: Сеятель, 1923.
19. *Камацу М.* Многообразие геометрии / Пер. с япон. М.И. Коновалова. М.: Знание, 1981.
20. *Прасолов В.В., Тихомиров В.М.* Геометрия. М.: МЦНМО, 2007.
21. *Isard W.* Distance Inputs and the Space-Economy. Part I: The Conceptual Framework // *The Quarterly Journal of Economics*. 1951. V. 65. № 2. P. 181–198.
22. *Isard W.* Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1960.
23. *Бунге В.* Теоретическая география / Пер. с англ. В.Я. Барласа, В.Б. Кузнецова, Ю.В. Медведкова; под ред. В.М. Гохмана. М.: Прогресс, 1967.
24. *Хаггетт П.* Пространственный анализ в экономической географии / Пер. с англ. Ю.Г. Липеца,

- С.Н. Тагера; под ред. В.М. Гохмана, Ю.В. Медведкова. М.: Прогресс, 1968.
25. *Деза Е., Деза М.М.* Энциклопедический словарь расстояний / Пер. с англ. В.И. Сычёва. М.: Наука, 2008.
 26. *Лёш А.* Пространственная организация хозяйства / Пер. с нем. В.Н. Стрелецкого; под ред. А.Г. Гранберга. М.: Наука, 2007.
 27. *Dacey M.F.* The Geometry of Central Place Theory // *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography*. 1965. V. 47. № 2. P. 111–124.
 28. *Sonis M.* Central Place Theory after Christaller and Lösch. Some further Explorations. In Memory of August Lösch, 15 October 1906 – 30 May 1945. Paper presented at 45th Congress of the European Regional Science Association: “Land Use and Water Management in a Sustainable Network Society”. 23–27 August 2005. Amsterdam, The Netherlands.
 29. Tool Kits in Regional Science. Theory, Models and Estimation / Ed. by M. Sonis, G.J.D. Hewings. Berlin: Springer-Verlag, 2009.
 30. *Гранберг А.Г., Суслов В.И., Суспицын С.А.* Многорегиональные системы: экономико-математическое исследование. Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2007.
 31. *Гранберг А.Г., Суспицын С.А.* Введение в системное моделирование народного хозяйства. Новосибирск: Наука, 1988.
 32. *Суслов В.И.* Измерение эффектов межрегиональных взаимодействий: модели, методы, результаты. Новосибирск: Наука, 1991.
 33. *Захарченко Н.Г.* Исследование экономического пространства: синтез балансового и теоретико-игрового методов моделирования // *Пространственная экономика*. 2015. № 4. С. 12–38.
 34. *Медведков Ю.В.* Топологический анализ сетей населённых мест // *Математика в экономической географии*. М.: Мысль, 1968. С. 159–167.
 34. Синтез научно-технических и экономических прогнозов: Тихоокеанская Россия – 2050 / Под ред. П.А. Минакира, В.И. Сергиенко. Владивосток: Дальнаука, 2011.

ПРОБЛЕМЫ
ЭКОЛОГИИ

**ЯДЕРНАЯ АВАРИЯ НА АТОМНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКЕ
В БУХТЕ ЧАЖМА**

РЕКОНСТРУКЦИЯ СОБЫТИЙ И АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ

© 2018 г. А.А. Саркисов*, В.Л. Высоцкий**

Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН

**E-mail: sarkisov@ibrae.ac.ru, **E-mail: vvl@ibrae.ac.ru*

Поступила в редакцию 07.02.2018 г.

Авторами статьи проанализированы события, связанные с крупнейшей в истории ВМФ СССР ядерной аварией, произошедшей на атомной подводной лодке К-431 10 августа 1985 г. во время плановых работ на судоремонтном заводе в бухте Чажма вблизи Владивостока. По соображениям секретности более 30 лет последствия этих событий оставались неизвестными широкому кругу специалистов и общественности, вызывая неоднозначные трактовки и домыслы. В статье излагаются результаты исследований, включающих сбор, обобщение и систематизацию сохранившихся неполных и разрозненных данных, численные и модельные расчёты, анализ причин и развития аварии. Рассмотрены её радиационные и радиоэкологические последствия, мероприятия по реабилитации, вопросы обращения с образовавшимися радиоактивными отходами и аварийной атомной подводной лодкой. Впервые оценены последствия выхода радиоактивных веществ в Японское море, перемещения в облаке на север вдоль российско-китайской границы, трансграничного распространения радиоактивных веществ для населения прилегающих стран.

Ключевые слова: атомная подводная лодка, ядерный реактор, активная зона, неконтролируемая самоподдерживающаяся цепная реакция, ядерная авария, тепловой взрыв, радиоактивные вещества, загрязнение, след, дозовая нагрузка, окружающая среда.

DOI: 10.31857/S086958730000083-9

К истории отечественного атомного флота. Создание отечественного атомного подводного флота, атомных крейсеров, а также единственного в мире мощного атомного ледокольного флота



САРКИСОВ Ашот Аракелович — академик РАН, советник РАН. ВЫСОЦКИЙ Валентин Леонидович — доктор технических наук, заведующий лабораторией ИБРАЭ РАН.

стало возможным лишь благодаря достигнутому в СССР высокому потенциалу фундаментальной науки. Реализация этих масштабных проектов потребовала концентрации новейших научных достижений в различных областях знаний, а также производственных и людских ресурсов. Изменить коренным образом облик флота, повысить его боевые возможности удалось благодаря развитию крупного самостоятельного направления в отечественной атомной отрасли — корабельной ядерной энергетике [1].

Здесь уместно отметить, что первая атомная подводная лодка (АПЛ) была построена в США. Она сошла с верфи в январе 1954 г., а работы по её созданию начались в декабре 1945 г., то есть вскоре после атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки. На первых американских АПЛ в качестве ядерных энергетических установок (ЯЭУ) использовались водо-водяные (ВВР) и жидкометаллические (ЖМТ) реакторы.

Отставание СССР в этой области объяснялось тем, что сразу после окончания Великой Отече-

ственной войны наша страна в условиях новых внешних угроз и в силу ограниченных экономических возможностей была вынуждена сосредоточить усилия на создании атомного оружия. Тем не менее всего через четыре года после создания первой американской АПЛ была построена первая советская АПЛ “Ленинский комсомол” (её назвали в память об одноимённой дизельной подводной лодке М-106 Северного флота, погибшей в одном из боевых походов в 1943 г.). Эта лодка находилась в боевом составе флота 30 лет, и в ходе её длительной эксплуатации удалось выявить многие конструктивные недостатки, накопить ценный опыт, способствовавший совершенствованию отечественного подводного флота. В 1997 г. АПЛ “Ленинский комсомол” с учётом её технического состояния была выведена из боевого состава ВМФ, а позднее переоборудована в музей.

Спуск в 1958 г. на воду первой отечественной АПЛ символизировал не просто очередной этап развития подводного флота. Это событие явилось революционным скачком, качественно изменившим облик нашего флота и его боевые возможности. Необходимо также подчеркнуть, что корабельная ядерная энергетика, как и атомная подводная лодка в целом, — наше подлинное национальное достижение. Если при создании атомного оружия разработчики в какой-то мере имели возможность опираться на сведения, предоставленные разведчиками, то при создании корабельных ядерных энергетических установок учёные и конструкторы действовали абсолютно автономно.

Исключительная роль в разработке ЯЭУ АПЛ принадлежит созданной ещё до войны передовой школе советских учёных и лично академику А.П. Александрову, которого по праву называют отцом корабельной атомной энергетике. Многие решения, положенные в основу создания первой АПЛ, с позиции сегодняшнего дня представляются тривиальными; однако в то время, когда они принимались, разработчики сталкивались с серьёзными трудностями из-за недостаточности научной базы и дефицита информации. В частности, на самой начальной стадии работы всех беспокоило незнание того, как поведёт себя заполненная жидкостью активная зона в условиях качки, кренов и дифферентов. Неизбежные динамические реакции и инерционные эффекты могли нарушить не только плавное перемещение теплоносителя, но и нейтронный баланс активной зоны.

Правда, после анализа и расчётов стало ясно, что опасения по этому поводу преувеличены. Силы инерции, возникающие в условиях качки, столь малы по сравнению с общими массами покая, что нет оснований их опасаться. В результате А.П. Александров с коллегами окончательно пришли к выводу, что реактор должен иметь водяной замедлитель, тепловой спектр нейтронов, а в ка-

честве теплоносителя нужно использовать ту же обычную воду под давлением, при котором будет обеспечен необходимый запас до кипения. Заметим, что энергетические реакторы такого типа ранее в нашей стране не строились. Задача носила поистине пионерский характер. Что касается ядерной энергетической установки в целом, то с самого начала разработчики остановились на традиционной котлотурбинной схеме с получением пара в парогенераторе, нагреваемом водой первого контура.

При внешней схожести традиционных паросиловых установок и корабельных ЯЭУ (в обоих случаях есть источник тепла, парогенератор, насосы, сепараторы, конденсаторы, турбина и т.д.) существует принципиальное различие в природе самого источника тепла. Применение в этом качестве ядерного реактора вызвало необходимость изучения в нём новых закономерностей теплообмена и гидродинамики. Несмотря на то, что вода как теплоноситель давно использовалась в котельной технике, в атомной энергетике потребовалось обеспечить новые технологические требования и выявить закономерности поведения воды в полях мощных излучений, учтя при этом свойства ранее не применявшихся материалов оболочек, особенности форсированных тепловых потоков в проточном тракте новой формы. При решении проблемы теплопередачи от тепловыделяющих элементов теплоносителю потребовалось развить исследования по кризисам теплоотдачи в щелевых каналах сложной формы, по определению коэффициентов теплоотдачи для новых геометрий и совокупности параметров, по созданию и изучению роли различных интенсификаторов теплообмена.

Применявшиеся ранее в гидродинамике одномерные и осреднённые подходы, когда для теплообменного аппарата определяются только перепады статического давления на участках проточного тракта и средние в сечениях скорости, оказались недостаточными. Возникла необходимость в разработке методов экспериментального исследования актуальных скоростей с выделением пульсационных составляющих, в выявлении источников и спектров пульсаций, вихревых структур, оптимизации моделирования пульсационных течений, разработке методов расчёта трёхмерных течений.

Актуальным стало формирование безвихревого проточного тракта в реакторе с обязательным выравниванием поля давлений в напорных и выходных коллекторах. Все эти научные задачи были решены в течение 10–12 лет творческими коллективами Физико-энергетического института, Центрального котлотурбинного института, Научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники и других учреждений.

В итоге масштабных теоретических и экспериментальных работ в 1956 г. была создана базовая малогабаритная, высоконапряжённая и высокоманёвренная ЯЭУ с двумя водо-водяными реакторами, удовлетворяющая специфическим требованиям использования её на подводной лодке.

Одновременно с работами по созданию ЯЭУ большие поисковые исследования велись с целью повышения скорости хода подводных лодок. Эта проблема исследовалась в ведущих научных учреждениях гидродинамического профиля, но особенно активно в Институте гидродинамики СО АН СССР под руководством академика М.А. Лаврентьева. По результатам изучения пограничного слоя воды у корпуса АПЛ были предложены методы оптимизации геометрических форм обтекаемого тела, а также принципы воздействия на него с целью снижения сопротивления движению. Многие из этих работ носили новаторский характер, а ряд их практических приложений в те годы не имели аналогов в мировой практике.

Наши атомные подводные лодки первых поколений по многим определяющим тактико-техническим параметрам, таким как скорость хода, глубина погружения, состав и характеристики вооружения, живучесть, вполне отвечали требованиям своего времени. Однако, к сожалению, они имели высокий уровень шумности, что снижало их акустическую скрытность. В этой связи задача улучшения акустических характеристик отечественных АПЛ приобрела особую актуальность. Как и задача разработки эффективных средств обнаружения подводных лодок, она оказалась чрезвычайно сложной, для её решения потребовались широкие фундаментальные и прикладные исследования. В итоге за 30 лет — с 1970 по 2000 г. — подводную шумность лодок удалось снизить в среднем в 1,5 раза, а звуковое давление более чем в 4 раза.

Говоря о роли науки в создании отечественного атомного подводного флота, следует отметить большую роль академических научных советов как координаторов фундаментальных и прикладных исследований. Одним из ведущих стал, например, Научный совет по комплексной проблеме “Гидрофизика”, созданный в 1967 г. и возглавлявшийся академиком Б.П. Константиновым, а с 1970 г. в течение 23 лет — академиком А.П. Александровым. В компетенцию совета входил широкий круг вопросов, но главными в течение многих лет оставались обеспечение скрытности наших лодок и разработка средств обнаружения подводных лодок вероятного противника. Научный совет по гидрофизике в высшей степени эффективно осуществлял координацию всех ведущихся в стране работ в этой области.

Решением многих актуальных проблем в интересах ВМФ занимался и Научный совет по проблемам гидродинамики, созданный

в 1960 г. Его первым председателем был академик М.А. Лаврентьев. В конце 1970-х годов был образован Научный совет по проблемам связи с глубокowodными подводными лодками, находящимися в районах боевого патрулирования. Большую роль в организации и деятельности совета сыграл его председатель академик В.А. Котельников. Проблемами применения вычислительной техники и использования математических методов, в том числе в интересах ВМФ, занимался Научный совет по прикладным проблемам при президиуме АН СССР, образованный в 1967 г. и возглавлявшийся известным специалистом в области математики и кибернетики академиком В.М. Глушковым.

Высокая степень интеграции науки и кораблестроения проявилась при создании подводных лодок проекта 705 с реакторами на промежуточных нейтронах, охлаждаемыми свинцово-висмутовым теплоносителем. Хорошо известно неоднозначное отношение к этому проекту со стороны руководства ВМФ и ряда специалистов, связанное с необходимостью создания отдельной дорогостоящей береговой инфраструктуры их технического обслуживания. Без преувеличения можно сказать, что его реализация в начале 1970-х годов стала уникальным научно-техническим прорывом, опередившим уровень того времени на несколько десятилетий. С учётом принципиальной новизны энергетической установки и впервые применённой системы комплексной автоматизации такой проект мог быть осуществлён только на основе самого широкого использования новейших научно-технических достижений.

Пожалуй, это был единственный в нашей стране случай, когда научными руководителями работ по созданию подводной лодки являлись сразу четыре академика, ведущие специалисты в своей области. Прежде всего упомянем А.П. Александрова, осуществлявшего общее научное руководство. За ядерную энергетическую установку отвечал академик АН УССР А.И. Лейпунский, за создание систем автоматического управления — В.А. Трапезников, за электрооборудование — академик АН Армянской ССР А.Г. Иосифьян.

Если бы не сложная экономическая ситуация, то новое направление с использованием жидкометаллического теплоносителя на подводном флоте можно было бы освободить от недостатков, свойственных всякому начальному периоду разработки оригинальных проектов, и оно могло бы стать равноправной альтернативой в развитии отечественных АПЛ.

В последующие годы строительство атомных подводных лодок осуществлялось на четырёх судостроительных заводах с постоянно нарастающими темпами. Характерно, что уже к концу 1980-х годов количество построенных в СССР атомных подводных лодок (248) превосходило суммарное число

спущенных на воду АПЛ всех других вместе взятых стран, а мощность энергоустановок всех отечественных атомных боевых кораблей и гражданских судов была соизмерима с общей мощностью построенных в СССР АЭС. Каждое новое поколение АПЛ становилось достижением нового рубежа в подводном кораблестроении.

Возвращаясь к отечественным разработкам раннего периода, отметим, что АПЛ первого поколения укомплектовывались ЯЭУ с двумя ВВР типа ВМ-А тепловой мощностью 70 МВт каждый (ядерная авария 1985 г. в бухте Чажма произошла на АПЛ первого поколения проекта 675 с реактором типа ВМ-А).

Интенсивное использование атомного флота потребовало создания мощной обслуживающей инфраструктуры и резко повысило требования к культуре эксплуатации ЯЭУ. По характерным и для неатомного флота авариям, таким как пожары, взрывы, затопления, столкновения, посадки на мель и др., аварийность атомных кораблей не выходила за рамки среднестатистического уровня. Особое место среди них занимают ядерные аварии и аварии, связанные с потерей герметичности контуров. Предотвращение их на атомном флоте всегда являлось приоритетной задачей высшего уровня вследствие возможных тяжелых последствий, связанных с опасностью выброса радионуклидов в объёмы подводной лодки и дальнейшего их поступления в окружающую среду.

Стремление минимизировать отставание от США при создании ЯЭУ и реакторов АПЛ первого поколения в ряде случаев приводило к неоптимальным конструктивным решениям и технологическим погрешностям. По этим причинам эксплуатация АПЛ нередко сопровождалась небольшими, но часто возникавшими радиационно опасными локальными авариями, связанными с утечками теплоносителя первого контура и в парогенераторах. Существенное обстоятельство: почти все крупные аварии корабельных ЯЭУ с неблагоприятными радиологическими и радиологическими последствиями произошли именно на АПЛ первого поколения (К-19 проекта 658 — 1961 г.; К-11 проекта 627 — 1965 г.; К-431 проекта 675 — 1985 г. и К-192 проекта 675 — 1989 г.; в 1958–1968 гг. было построено 56 АПЛ, из них 29 — проекта 675). Причина состояла в том, что установки первого поколения, с точки зрения ядерной и радиационной безопасности, имели конструктивные недостатки, связанные с чрезмерной пространственной разветвлённостью и большим объёмом первого контура, наличием трубопроводов большого диаметра, соединяющих основное оборудование (реактор, парогенераторы, насосы, теплообменники, компенсаторы объёма и др.), а также первоначально принятыми завышенными эксплуатационными параметрами (температура воды первого контура достигала

300°C, давление — 200 атм., температура пара — 250°C) [2, 3].

Конструктивные и технические недостатки ЯЭУ создавали проблемы и в организации защиты при аварийной разгерметизации первого контура, а также при разрыве многочисленных импульсных трубок, соединяющих первый контур с контрольно-измерительными приборами. К тому же во время пуска ЯЭУ контрольно-измерительная аппаратура позволяла отслеживать ядерные процессы в реакторе только при выходе его на минимально контролируемый уровень мощности. Пуск реактора осуществлялся по специальной программе перемещения управляющих органов, рассчитанной оператором.

При остановленном реакторе компенсирующая решётка находится в крайнем нижнем положении. Положение решётки, при котором достигается критическое состояние и начинается самоподдерживающаяся цепная реакция деления (пусковое положение КР), зависит от степени выгорания топлива — оно тем выше, чем больше его выгорание. В активной зоне, загруженной “свежим” топливом, пусковое положение решётки самое низкое. Именно это обстоятельство в совокупности с несовершенным перегрузочным оборудованием и ошибками персонала впоследствии привели к возникновению ядерной аварии на АПЛ К-431 в бухте Чажма.

На фоне всех радиационных и ядерных аварий ЯЭУ АПЛ, надводных кораблей и судов атомного ледокольного флота СССР и России с 1960 г. по настоящее время, которые были связаны с потерей теплоносителя и оплавлением активных зон, а также неконтролируемой самоподдерживающейся цепной реакцией (таких было шесть), ядерная авария на АПЛ К-431 оказалась максимально опасной. По Международной шкале классификации ядерных и радиационных аварий INES (International Nuclear Event Scale) она соответствует уровню 5 (остальные аварии на корабельных реакторах достигали уровней 2–4). По этой шкале только две аварии в мире оценены уровнем 7 (на Чернобыльской АЭС и АЭС “Фукусима-1”) и одна уровнем 6 — ПО “Маяк”. Часто упоминаемая авария на АЭС Три-Майл-Айленд, крупнейшая в истории США, соответствовала уровню 5.

Описание района и объекта аварии. В послевоенный период Тихоокеанский флот (ТОФ) претерпел качественные изменения. Он был оснащён самыми совершенными видами вооружения — подводными и надводными кораблями, атомными ракетноносцами с большой автономностью плавания, неограниченной мореходностью и мощными ударными средствами. Это позволило ему из прибрежных вод выйти на просторы Мирового океана. С 1968 г. пребывание кораблей флота в Тихом и Индийском океанах стало обычной практикой.

Основными регионами базирования АПЛ на ТОФ были определены Камчатка и Приморский край. В Приморье такая военно-морская база располагалась в заливе Стрелок и входящих в него бухтах на расстоянии 30–40 км от Владивостока через Уссурийский залив (рис. 1).

В середине 1950-х годов в Конструкторском бюро В.Н. Челомея была разработана крылатая ракета П-6 с дальностью полёта 300 км, способная поражать цели ядерной или фугасно-осколочной боеголовкой большой мощности. 17 августа 1956 г. вышло постановление Совета министров СССР о начале разработки АПЛ, несущих не только противокорабельные ракеты П-6, но и стратегические крылатые ракеты П-5М для поражения в первую очередь авианосцев, а также различных береговых целей. Следует отметить, что в то время ни одна морская держава ещё не располагала атомными подводными лодками, вооружёнными крылатыми ракетами.

Проектирование лодки вело КБ “Рубин” под руководством Генерального конструктора П.П. Пустынцева. Вследствие напряжённой международной обстановки разработчиков очень торопили, и чтобы уложиться в отведённые сроки, они взяли за основу новой АПЛ дизельную подводную лодку проекта 651, оснащённую четырьмя крылатыми ракетами. Энергетическая установка АПЛ проекта 675 состояла из двух реакторов, конструктивные особенности которых уже были отработаны на АПЛ проекта 627 (“Ленинский комсомо́л”). Строили быстро и массово: в 1963–1968 гг. передали ВМФ 29 субмарин, из которых 15 пошли на Северный флот и 14 — на Тихоокеанский флот, в их числе и ставшая объектом будущей ядерной аварии АПЛ К-431.

Атомная двухвальная подводная лодка проекта 675 имела два корпуса (лёгкий негерметичный и прочный герметичный) с располагавшимися в них десятью отсеками. Главная энергетическая установка (39 000 л.с.) включала два реактора ВМ-А (2 x 70 МВт), две паровые турбины и два главных турбозубчатых агрегата. Реакторы располагались за ходовой рубкой в шестом необитаемом (в нём несли только вахту) реакторном отсеке. Жилые отсеки (2-й и 9-й) располагались на удалении 20–30 м от реакторов (рис. 2). Окружающая АПЛ среда экранировалась от радиационных излучений твердотельной биологической защитой, оборудованием, конструкциями и корпусом АПЛ, а также морской водой, находящейся между лёгким и прочным корпусами лодки.

В процессе эксплуатации АПЛ энергоресурс и необходимый для поддержания цепной реакции запас реактивности в результате постепенного выгорания топлива снижаются. Тогда для их восстановления производится плановая перезарядка реакторов. При этом отработавшее топливо за-



Рис. 1. Военно-морская база Стрелок вблизи Владивостока

Место ядерной аварии на АПЛ К-431 10 августа 1985 г. в бухте Чажма, посёлок Дунай

меняется на “свежее” путём загрузки в активную зону (АЗ) новых тепловыделяющих сборок. Процедура перезарядки представляет собой комплекс демонтажно-монтажных работ с полной заменой АЗ и последующими физическим и энергетическим пусками. В особых случаях для устранения возникших неполадок проводятся внеплановые перезарядки.

На АПЛ первого поколения плановая перезарядка выполнялась в среднем один раз в 5–7 лет, к примеру, АПЛ К-431 до аварии прошла две перезарядки реакторов. Для таких работ на Северном и Тихоокеанском флотах были созданы береговые и использовались плавучие технические базы (БТБ, ПТБ). Перезарядка — ответственное и сложное техническое мероприятие, в ходе которого, кроме замены активной зоны, приходится решать вопросы обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами. На современных АПЛ перезарядки осуществляются значительно реже в связи с более высоким энергоресурсом новых типов активных зон и повышением надёжности энергетического оборудования.

В целях обеспечения безопасности в пункте перезарядки в обязательном порядке устанавливаются режимные зоны. Всю прилегающую территорию, включая АПЛ, суда обеспечения — плавучую техническую базу или плавучую мастерскую (ПМ), плавучее контрольно-дозиметрическое судно (ПКДС) и часть завода, выделяют в зону режима радиационной безопасности (ЗРРБ). В неё допускают только персонал, занятый подготовкой к перезарядке, выполнением работ и несением вахты. Внутри ЗРРБ дополнительно выделяют небольшую зону строгого режима (ЗСР), то есть помещения и участки, где непосредственно ведутся работы с источниками ионизирующих излучений.

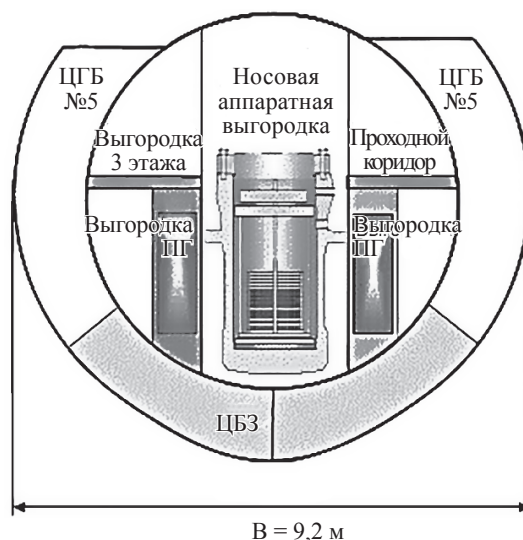
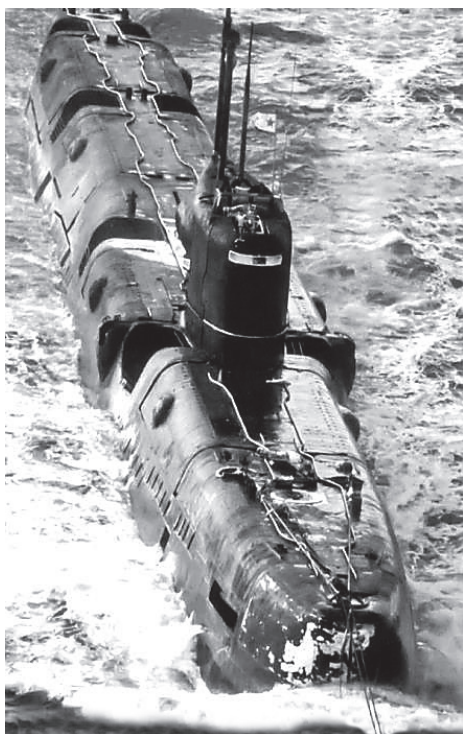


Рис. 2. АПЛ проекта 675 в море. Поперечный разрез реакторного отсека

ЦГБ, ЦБЗ — цистерны главного балласта и биологической защиты. Заполняют морской водой. ПГ — парогенераторы

Вход и выход из ЗСР осуществляют через пункт радиационного контроля. На АПЛ к ЗСР относят лёгкий корпус в районе реакторного отсека, реакторный отсек и временное защитное сооружение, которое в профессиональной среде принято было называть “домиком”. Его ставят на палубу за ходовой рубкой для защиты от атмосферных осадков проёма размером 6×4 м, вырезаемого в лёгком и прочном корпусах над реакторами. При отсутствии конкретных работ “домик”, реакторный отсек, переходы в соседние отсеки закрывают на кремальеры и опечатывают. По такому принципу производилась и перезагрузка реакторов на АПЛ К-431 у пирса № 2 на акватории судоремонтного завода № 30 (СРЗ-30) ВМФ в бухте Чажма (рис. 3).

В ближней зоне радиусом до 50 м относительно АПЛ находились два судна обеспечения ПКДС-12 и ПМ-133 и ремонтирующаяся АПЛ К-42 [4]. На пирсах № 2 и 3 (радиус до 120–150 м) располагались пять ремонтирующихся подводных лодок, судно обеспечения ПКДС-5, плавкран “Черноморец” и два катера. В 150–500 м — плавучие доки ПД-11, ПД-48 и плавучая казарма ПКЗ “Сура”. На прилегающей к пирсам территории находилась проходная — пункт радиационного контроля, через который прошла ось радиоактивного следа, рядом — радиобиологическая лаборатория, вспомогательные здания и сооружения, открытый склад металла, площадки и цеха завода.

На акватории бухты Чажма на удалении 500–800 м от места аварии стоял открытый плавучий док ПД-41 (справа за ПД-48, не показан на

рис. 3), в котором ремонтировался тяжёлый авианесущий крейсер “Минск”. От окраин прилегающих посёлков Дунай и Темп место аварии было удалено на 1400–1700 м, отделено грядой сопков высотой 20–160 м и плотным лесным массивом с подлеском. Противоположный берег бухты Чажма, находившийся на расстоянии 500–600 м, также защищали гряда сопков высотой 20–50 м и лес с подлеском.

Предпосылки и причины аварии, неконтролируемая самоподдерживающаяся цепная реакция и тепловой взрыв. В предшествующие три месяца до аварии отработавшее ядерное топливо из двух реакторов АПЛ К-431 было извлечено и заменено на “свежее”. Руководитель и специалисты перегрузочной команды 375 БТБ имели большой опыт подобных работ, прошли специальную дополнительную подготовку, надлежащий инструктаж и получили допуск к работам. Специалист-физик был подготовлен в ИАЭ им. И.В. Курчатова и допущен к самостоятельному проведению ядерно-опасных работ.

За 10 суток до аварии, произошедшей, как уже упоминалось, 10 августа 1985 г., перегрузочная команда проводила обычные работы по уплотнению крышек реакторов с проверкой герметичности путём гидравлических испытаний. По истечении первых четырёх дней проверок кормовой реактор был принят в эксплуатацию. Для проверки герметичности крепления крышки носового реактора также было применено избыточное давление, но при этом обнаружилась капельная течь между крышкой и корпусом реактора. Попытка

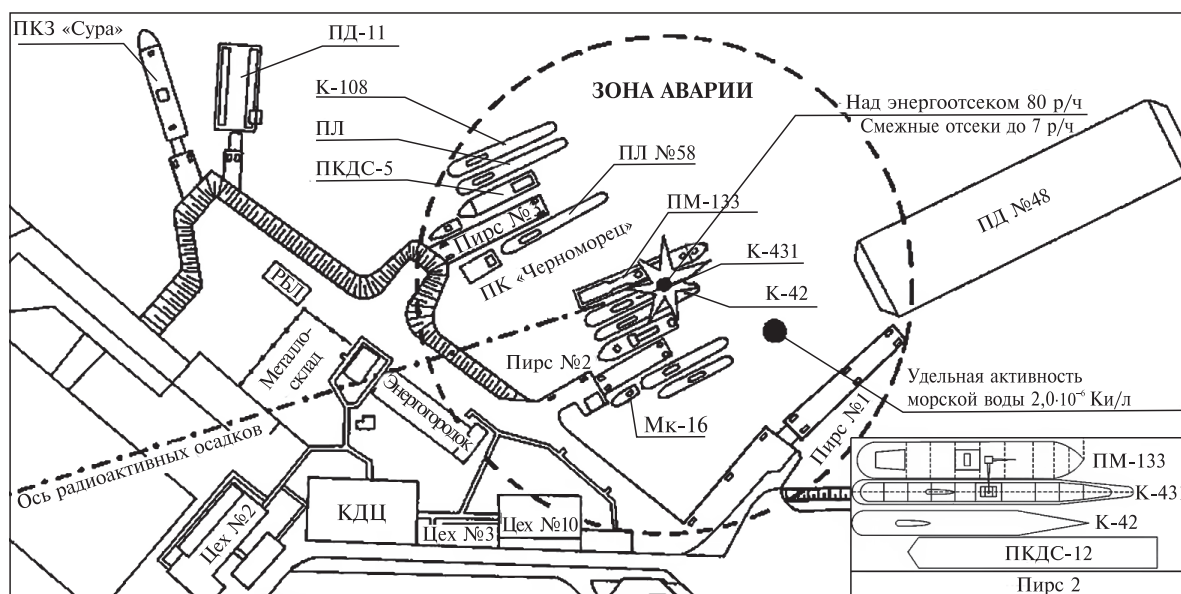


Рис. 3. Расположение судов на акватории бухты Чажма и объектов на СРЗ-30 перед аварией
Пунктиром указана область радиусом 150 м от места аварии, на вставке — АПЛ К-431 и суда обеспечения

устранения неплотности поджатием крепёжных гаек оказалась безуспешной. Через 9 мин после повторного повышения давления в стыке вновь появилась вода. Давление сняли, и руководитель работ 4 августа доложил в соответствующие инстанции о сложившейся ситуации.

После более тщательного осмотра места течи между крышкой и корпусом был обнаружен оставленный по халатности сварочный электрод. Об этом 8 августа немедленно было доложено в Техническое управление флота. Требовалась срочная замена испорченной уплотнительной прокладки, но на 375 БТБ её не оказалось. Из Технического управления сообщили, что доставят только в понедельник, то есть 12 августа. Главный инженер 375 БТБ и руководитель перезарядки, учитывая сложившуюся неблагоприятную обстановку, 10 августа в первой половине дня приняли самостоятельное решение поднимать крышку реактора.

Перед подъёмом крышки, которая плотно входит своей нижней частью в корпус на глубину до 40 см, гайки болтов её крепления снимают (реактор становится негерметичным). Поскольку подъём компенсирующей решетки сопряжён с высвобождением большой избыточной реактивности, для обеспечения ядерной безопасности над крышкой реактора монтируется специальное устройство удержания штока решётки в нижнем положении. В штатном рабочем режиме до перезарядки шток беспрепятственно выходит наружу через центр крышки. Однако в случае перекоса крышки при её подъёме шток может быть непроизвольно зажат в отверстии и начнёт подниматься вверх. Такая ситуация чрезвычайно опасна и

недопустима, так как “физический вес” компенсирующей решётки, рассчитанный на компенсацию полного начального запаса реактивности, во много раз превосходит суммарную долю запаздывающих нейтронов (0,0064). Её нерегулируемый подъём может привести реактор в состояние мгновенной критичности и вызвать неконтролируемую самоподдерживающуюся цепную реакцию с последующим тепловым взрывом [3]. Именно такая ситуация в результате ошибочных действий персонала сложилась 10 августа 1985 г. на АПЛ К-431.

В 11 ч 55 мин по владивостокскому времени в течение 36 мс (по оценкам РНЦ “Курчатовский институт”) при подъёме крышки внутри реактора раздался один за другим два тепловых взрыва. Произошёл выброс радиоактивных веществ и ядерного топлива за пределы АПЛ, возникли сильные разрушения. Анализ ядерных аварий с СЦР и расчётные оценки показали, что время единичного энергетического всплеска могло составлять 1–4 мс, а пиковая мощность достигать $1,5 \cdot 10^9$ Вт ($5 \cdot 10^{19}$ делений). Второй энергетический всплеск был меньше — $2 \cdot 10^8$ Вт ($6 \cdot 10^{18}$ делений). Различие между ними связано с тем, что после первой СЦР произошло нарушение геометрии активной зоны, а вода превратилась в пар, что существенно понизило интенсивность цепной реакции деления в результате резкого снижения образования тепловых нейтронов [5–7].

При столь высоких значениях числа делений в результате СЦР возникают кратковременные мощные потоки нейтронов и гамма-квантов, выходящие за пределы корпуса реактора. Но в дан-

ной ситуации их воздействие было существенно ослаблено в связи с тем, что активные зоны реакторов расположены на 4–5 м ниже ватерлинии, то есть под поверхностью воды, в необитаемой части АПЛ. Именно по этой причине при СЦР не возникло существенного радиационного воздействия на стоявшие рядом АПЛ К-42 и ПМ-133, так как не только биологическая защита реактора, но и разделявший их слой морской воды в миллионы раз снизили все виды излучений. В сложившейся ситуации наибольшую опасность представлял выброс радиоактивных веществ за пределы АПЛ.

Ударная волна, возникшая при взрыве, со скоростью звука распространилась над акваторией и по территории завода. Последующий радиационный мониторинг береговой черты и территории показал, что фронт ударной волны за 3 с перенёс в горизонтальной плоскости часть радиоактивных веществ на расстояние до 1000 м от места взрыва. Для сравнения: за это же время облако дыма поднялось только на 20–25 м. Во время взрыва из реактора была выброшена часть ядерного топлива, которое стало выпадать вокруг АПЛ, — его наблюдали в виде серого порошка в радиусе 50–100 м от лодки. Кроме этого, мелкие высокоактивные фрагменты разрушенной АЗ разлетелись по площади радиусом до 150–200 м от места аварии. Появившийся сразу после взрыва над реакторным отсеком огненный шар диаметром 4–5 м, имевший температуру 900–1100° С, просуществовал не более 1 с, но привёл к образованию в отсеке мощного пожара, который тушили в течение 4 часов. Далее сформировалось серо-чёрное облако, содержавшее радиоактивные вещества, которое поднялось на 20–25 м над АПЛ и, расширившись до 20–30 м, стало медленно перемещаться по ветру в сторону судоремонтного завода.

Из этого облака на корабли, пирсы и акваторию бухты Чажма в радиусе 50–100 м стали выпадать загрязнённые радиоактивными веществами продукты горения, шлак, “горячие” радиоактивные частицы, мелкие и крупные фрагменты разрушенных внутриреакторных конструкций, реакторного отсека и защитного “домика”. Примерно на такую же высоту (около 20–30 м) были выброшены крышка реактора с присоединёнными к ней остатками разрушенной активной зоны общим весом около 6–7 т, которые затем упали обратно в реакторный отсек, пробив прочный корпус АПЛ. Лодка стала заполняться водой, что потребовало после тушения пожара в крайне тяжёлых радиационных условиях организовать её удержание плавучим краном на поверхности воды и перемещение на мелководье.

Далее облако дыма со скоростью ~5 м/с продолжило двигаться по ветру в противоположную от населённых пунктов сторону и превратилось в маркер траектории перемещения радиоактивных веществ над территорией завода и за его пределами. На вхо-

де облака в лесной массив очевидцы наблюдали его столкновение с нижней частью ближней сопки высотой 70 м (600–700 м от места аварии) и медленное передвижение вверх по ней на высоту 40–50 м от земли. После этого облако, задевая вершины более низких сопкок, углубилось на необитаемую территорию полуострова Дунай, оставляя за собой радиоактивный след на протяжении 5,5 км от места аварии вплоть до Уссурийского залива и далее.

Как известно, масштабы ядерной аварии и её последствия наиболее полно характеризуются мощностью радиоактивного выброса. При оценке его величины в ряде случаев возникает необходимость по отдельности учитывать каждый из источников образования радиоактивных веществ, загрязняющих окружающую среду. В рассматриваемой ситуации их оказалось три. К первому следует отнести “свежее” ядерное топливо — источник альфа-излучения. Второй источник — образовавшиеся в ходе СЦР при мгновенном делении ^{235}U бета-гамма-радионуклиды и в незначительном количестве альфа-излучатели. И третий источник — бета-гамма-активные продукты активации, накопившиеся до аварии в конструкциях реактора в результате его многолетней эксплуатации.

Исходная альфа-активность “свежего” ядерного топлива в реакторах типа ВМ-А составляет ~ $6 \cdot 10^9$ Бк (230–240 кг ^{235}U и ^{238}U). Расчёты, выполненные по результатам мониторинга радиоактивного загрязнения окружающей среды, показали, что на береговом радиоактивном следе могло оказаться 3–3,5% от общей загрузки ядерного топлива (7–8 кг) суммарной альфа-активностью около $2 \cdot 10^8$ Бк (для сравнения: при аварии на Чернобыльской АЭС выброс составил ~3,5%, или ~6500 кг ^{235}U и ^{238}U). Большая часть топлива (60–70%) в виде расплава в смеси с металлоконструкциями АЗ осталась в корпусе реактора и в реакторном отсеке. Остальное выпало вокруг АПЛ на корабли и суда, пирсы, прибрежную полосу и акваторию бухты Чажма. В береговой полосе, на пирсах и судах практически всё было собрано и захоронено, но это невозможно было сделать на акватории бухты. До настоящего времени радиоактивные вещества находятся в донных отложениях под илом между пирсами № 2 и № 3.

Для оценки образования продуктов деления ^{235}U энерговыделение при первой вспышке СЦР связывали с максимально возможным его числом — $5 \cdot 10^{19}$, что эквивалентно взрыву 350 кг тринитротолуола (ТНТ) с мощностью энергетического всплеска ~ $1,5 \cdot 10^9$ Вт, при второй — $6 \cdot 10^{18}$ (37 кг ТНТ, мощность $0,2 \cdot 10^9$ Вт). Для этих условий были получены согласующиеся между отечественными (РНЦ “Курчатовский институт”, ИБРАЭ РАН [4, 6, 8, 9]) и зарубежными (НАТО [7]) специалистами результаты выброса по следующим определяющим до-

зобrazующим радионуклидам: ^{131}I — $\sim 40 \pm 15$ ГБк, ^{137}Cs — $\sim 1,7 \pm 0,7$ ГБк и ^{90}Sr — $\sim 1,6 \pm 0,8$ ГБк. Выброс ^{60}Co , накопившегося в реакторе за две предыдущие кампании, составил $\sim 16000 \pm 6000$ ГБк.

Спад суммарной активности продуктов мгновенного деления ^{235}U без учёта выхода радиоактивных благородных газов при числе делений $6 \cdot 10^{18}$ и основных доминирующих короткоживущих радионуклидов, рассчитанный специалистами РНЦ “Курчатовский институт”, приведён на рисунке 4 [4, 6]. Из него видно, что через 1 мин после аварии общая активность выброса уменьшается более чем в 10 раз, через 1 час — в 1000 раз, через сутки — в 10^5 раз. Через 2–3 часа после аварии в приземном слое атмосферы основным дозобразующим продуктом деления стал ^{131}I ($T_{1/2} = 8,04$ сут), но его активность составляла не более 1% от выброса ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,27$ лет).

Последующие многолетние наблюдения за состоянием радиоактивного загрязнения окружающей среды на территории судоремонтного завода № 30, полуострове Дунай и прилегающих морских акваториях показали, что ядерная авария на АПЛ К-431 привела к образованию “кобальтового” радиоактивного следа. Закрепившееся за чажминским следом такое определение объясняется тем, что в составе содержащихся в грунте, почве, воде, фауне и флоре техногенных радионуклидов на долю ^{60}Co приходится 90–99% всей активности.

Радиоактивный след. При оценке радиозологических последствий ядерной аварии на АПЛ К-431 для анализа последствий из методических соображений выделено три зоны образования радиоактивного следа: первая — эпицентр аварии, судоремонтный завод и примыкающие к ним акватории; вторая — береговая зона на полуострове Дунай; третья — связанная с отдалённым (залив Петра Великого, юг Приморья) и трансграничным переносом радионуклидов (через российско-китайскую границу) воздушным и морским путями (выход в нейтральные воды северо-западной части Японского моря).

Площадь акватории вокруг эпицентра аварии радиусом 50–100 м до настоящего времени остаётся областью с высокой степенью радиоактивного загрязнения донных отложений [4]. Однако на момент аварии наибольшую радиационную опасность представляла АПЛ. В реакторном отсеке мощность экспозиционной дозы (МЭД) на расстоянии 1 м от крышки реактора и части разрушенной активной зоны достигала 2000–3000 Р/ч, а в местах радиационных “прострелов” (узких пучков гамма-излучения) — 4000–7000 Р/ч (МЭД получена расчётным путём). Плотность радиоактивного загрязнения поверхностей составляла 10^6 – 10^9 расп/см²·мин, а МЭД в 3–5 м над реакторным отсеком — 150–250 Р/ч.

По направлению развития радиоактивного следа МЭД постепенно снижалась, но в зоне

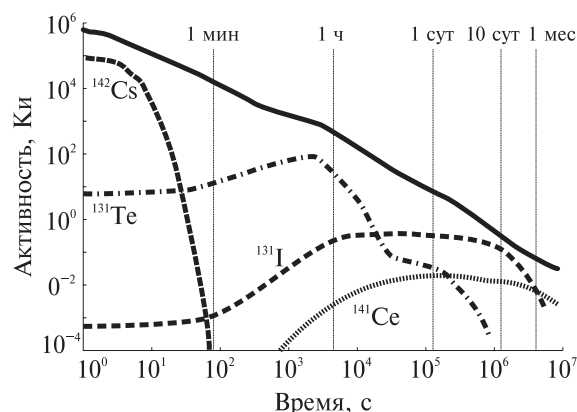


Рис. 4. Спад суммарной активности и доминирующих короткоживущих продуктов деления ^{235}U , образовавшихся в результате аварии без учёта радиоактивных благородных газов

Оценки приведены для числа делений $6 \cdot 10^{18}$

строного режима вблизи АПЛ в полосе шириной до 200 м (проходная, пирсы, суда, АПЛ) оставалась довольно высокой — 0,2–2 Р/ч. Наибольшее излучение исходило от мелких фрагментов разрушенной сборки АЗ, разбросанных по этой территории. МЭД от них достигала 50–200 Р/ч, что потребовало организовать специальную группу по их поиску, сбору и захоронению. Плотность поверхностного радиоактивного загрязнения в этой области была наибольшей и составляла 10^4 – 10^6 расп/см²·мин (рис. 5).

В первые сутки после аварии МЭД и плотность загрязнения на территории завода и особенно на оси радиоактивного следа оставались высокими, достигая в отдельных местах 300 мР/ч и 10^5 расп/см²·мин соответственно. На вторые-третьи сутки в результате распада короткоживущих продуктов деления эти показатели уменьшились в 3–7 раз, однако в последующем спад активности замедлился, так как определяющую роль стали играть радионуклиды, относящиеся к продуктам активации, периоды полураспада которых составляли десятки-сотни суток и несколько лет.

В первые сутки после аварии удельная активность морской воды вблизи АПЛ достигала предельно высокого уровня — $(1-3) \cdot 10^8$ Бк/м³. Основными долгоживущими радионуклидами были ^{60}Co (65–90%), ^{54}Mn (4–16%), а также ^{137}Cs и ^{90}Sr (менее 1%). Через 2–3 суток в верхнем слое воды под воздействием турбулентной диффузии их содержание существенно понизилось. Радионуклиды рассеялись и перешли на нижние горизонты, после чего течением переместились в прилегающий залив Стрелок. Загрязнёнными до 3–5 км от места аварии оказались не только вода, но донные отложения и биота.

По истечении двух месяцев радиационная обстановка в акватории бухты Чажма в целом нормализовалась, кроме радиоактивного загрязнения

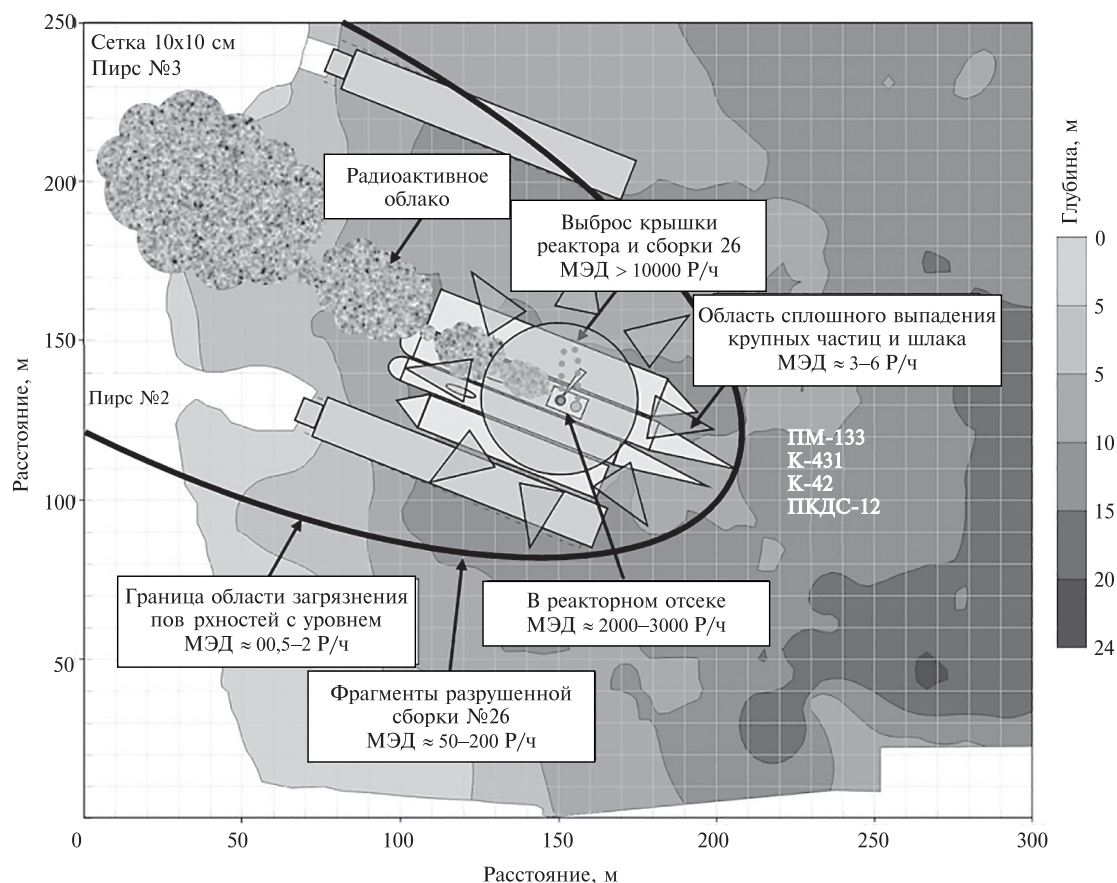


Рис. 5. Радиационная обстановка в эпицентре аварии через 1–5 мин после взрыва ЯЭУ на АПЛ К-431 бухта Чажма, шкала глубин, м

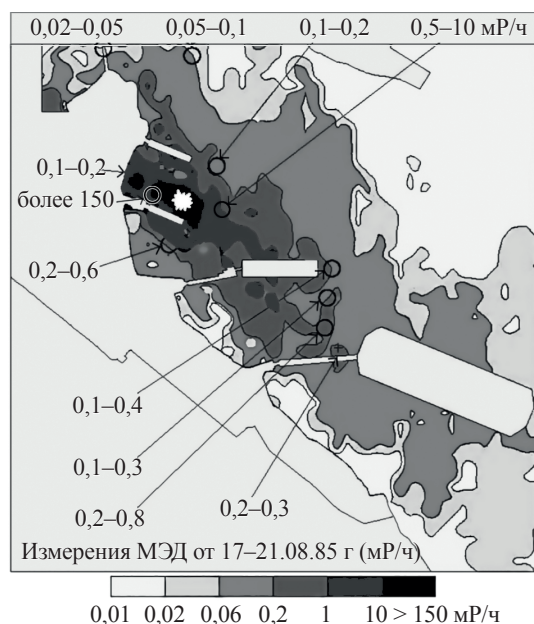


Рис. 6. Восстановленное поле радиоактивного загрязнения донных отложений бухты Чажма в первые 10 дней после аварии
Кружки — места измерения МЭД на дне

донных отложений между пирсами № 1–3. Площадь, где МЭД достигала наибольших значений и изменялась от 1 до 150 мР/ч (без учёта излучения от фрагментов разрушенной АЗ), составила ~50000 м² (рис. 6) [4].

В ходе дальнейших работ по поиску и идентификации затопленных фрагментов разрушенной АЗ с дистанционным телеосмотром дна, проведённых специалистами Тихоокеанского флота в 1991 г., не выявлено посторонних предметов в местах максимальных значений МЭД. Дно было покрыто ненарушенным слоем ила толщиной от 10 до 30 см. Из 28 обнаруженных измерительной аппаратурой радиоактивных аномалий наибольшие МЭД с уровнями 1,4 и 6,4 Р/ч отмечены только в двух местах. Они располагались рядом друг с другом на удалении 100 и 110 м от береговой черты с левого борта от места нахождения аварийной АПЛ. МЭД от остальных фрагментов изменялась в пределах 20–280 мР/ч. Все они оказались сосредоточенными в узкой полосе (протяжённостью 120–150 м и шириной 40–60 м), ориентированной в направлении судоремонтного завода вдоль пирса № 2, куда перемещалось радиоактивное облако после взрыва реактора [4].

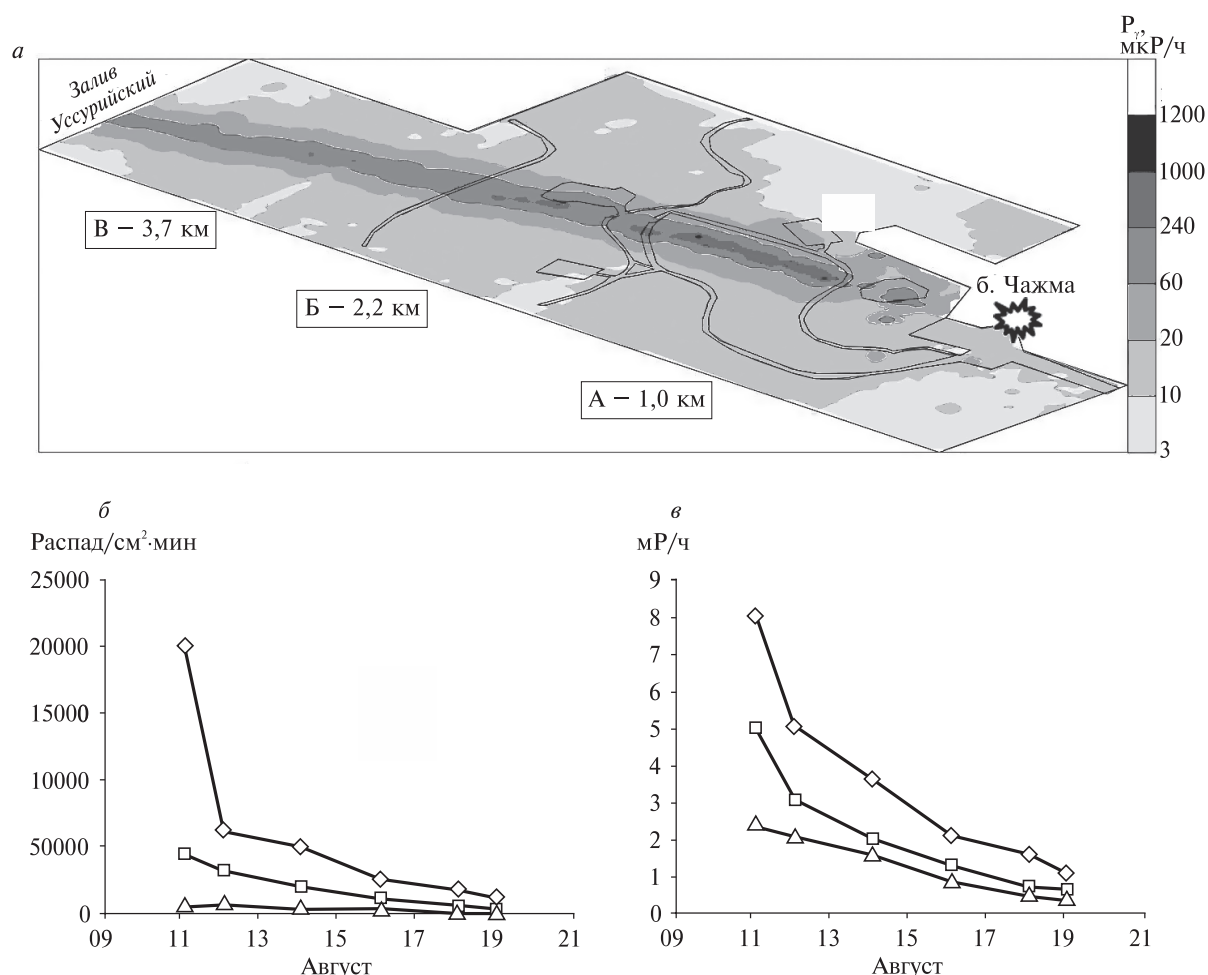


Рис. 7. Контрольные точки наблюдений (А, Б, В) за динамикой (β , ν) изменения радиоактивного загрязнения почвы на береговом радиоактивном следе с 11 по 19 августа 1985 г.

a – след построен по данным мониторинга 1991 г.; β – плотность бета-загрязнения; ν – значения МЭД

Выпавшие в момент аварии на пирс, АПЛ и суда обеспечения крупные высокоактивные фрагменты разрушенной сборки АЗ при дезактивации были собраны в контейнеры и захоронены, а мелкие, включая радиоактивный шлак, “горячие” частицы и диспергированное ядерное топливо, смыты за борт и осели на дно.

Радиационная разведка, выполненная одним из подразделений химического полка флота в лесном массиве на вторые сутки после аварии, показала, что основная область радиоактивных веществ оказалась локализованной в узкой полосе шириной 400–600 м и длиной до 4000 м при общей ширине полуострова Дунай 5,5 км. Для контроля за динамикой спада активности на следе были выбраны три реперные точки наблюдения (А, Б, В), где ежедневно измеряли МЭД (P_γ) и плотность бета-загрязнения (P_β) почвы. Анализ полученных результатов показал, что P_β , определявшаяся в основном короткоживущими продуктами деления ^{235}U , понизилась в

первые сутки в 7–10 раз, а МЭД – всего лишь в 1,5–3 раза, так как была преимущественно обусловлена гамма-излучением продуктов активации (рис. 7) [4, 10].

Последующий ежемесячный, а в дальнейшем и ежегодный контроль за радиационной обстановкой на следе был возложен на службу радиационной безопасности завода и Химическую службу флота, которая проводила и расширенные радиоэкологические исследования с привлечением независимых контролирующих органов. Кроме того, по заказу администрации Приморского края ряд независимых организаций выполнял выборочный контроль и отдельные исследования. В качестве примера в таблице приведены результаты одной из независимых экспертиз, относящихся к идентификации радионуклидного состава загрязнения почвы на полуострове Дунай и донных отложений в бухте Чажма [11]. Исследования проводили специалисты Химической службы Тихоокеанского флота, службы радиационной безопасности

Удельная активность техногенных радионуклидов на береговом радиоактивном следе и эпицентре аварии ЯЭУ АПЛ К-431 в бухте Чажма (1998 г., Бк/кг сухого веса)

Место отбора проб	Удельная активность, Бк/кг			
	²³⁵ U	⁶⁰ Co	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Береговой след (1,3–3 км от эпицентра, п-ов Дунай)	< 5	(4,9±0,08)×10 ⁴	47±11	19,0±3,6
	< 5	(1,6±0,04)×10 ⁴	76±33	30,2±4,5
	< 5	(4,1±0,03)×10 ⁴	41±13	30,1±3,5
Озеро-котлован (0,7–1,1 км от эпицентра)	< 5	(2,5±0,04)×10 ⁴	< 2*	2,9±3,2*
	< 5	(4,2±0,04)×10 ⁴	< 2*	1,4±3,6*
Бухта Чажма донные отложения (эпицентр, R до 100 м)	< 5	(1,6±0,09)×10 ³	260±30	2,8±3,1*
	< 5	(5,3±0,05)×10 ⁴	130±55	3,4±3,7*
	< 5	(4,3±0,40)×10 ³	95±20	3,3±3,1*
	(5,3±0,08)×10 ³	(7,4±0,05)×10 ⁴	230±40	3,7±3,5*

*Фон, обусловленный глобальными выпадениями, соответствует 1–5 Бк/кг.

В соответствии с [12] допустимая концентрация в грунтах приливной зоны ⁶⁰Co составляет 3,7·10² Бк/кг и ¹³⁷Cs – 2,59·10³ Бк/кг. В эпицентре в местах с высокими значениями МЭД содержание ⁶⁰Co достигало 10⁵⁻⁸ Бк/кг.

Примечание. Отбор проб почвы и донных отложений осуществлялся в верхнем слое 0–3 см.

СРЗ-30 и Дальневосточного филиала НПО “Тайфун” (Владивосток) — ведущей научной организации Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Из данных, приведённых в таблице, видно, что в пробе, содержащей ²³⁵U, которая была отобрана из эпицентра аварии, кроме основных долгоживущих продуктов деления ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, присутствует и ⁶⁰Co. Это свидетельствует о том, что при расплаве ядерного топлива и внутриреакторных конструкций образовывались труднорастворимые интерметаллиды. Неизбежно при СЦР в АЗ со “свежим” ядерным топливом образуются и долгоживущие продукты деления ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, но их количество в сотни и тысячи раз меньше накопившихся ранее во внутриреакторных конструкциях продуктов активации (⁶⁰Co и др.). Именно по этой причине радиоактивное загрязнение окружающей среды в бухте Чажма и на берегу практически полностью определяется ⁶⁰Co.

Отсутствие ²³⁵U в пробах грунта в донных отложениях озера-котлована и почвы на полуострове Дунай — показатель того, что основная масса радиоактивных веществ, поступивших в приземный слой атмосферы, находилась в форме аэрозолей, и это обеспечило их перенос на большие расстояния с образованием берегового радиоактивного следа. Интерметаллиды (“горячие” частицы) как одна из наиболее тяжёлых фракций выброса быстро осели в акватории бухты Чажма и выпали на прилегающей территории судоремонтного завода.

Возвращаясь к моменту аварии, следует отметить, что уже в течение первых 15 мин после теплового взрыва реактора перенос радиоактивных веществ паровоздушным облаком и последствия анализировались специалистами Химиче-

ской службы Тихоокеанского флота. Для этого использовались данные и сценарии развития событий, заранее подготовленные на этапе планирования работ по перезагрузке реакторов. Одновременно осуществлялась надлежащая корректура путём введения реальных данных о направлении и скорости ветра в районе аварии и заливе Петра Великого, которые предоставила Гидрографическая служба флота, а также использования оперативных данных с места событий о характеристиках ядерной аварии. Вся информация поступала во Владивосток и анализировалась специалистами расчётно-аналитической станции.

По выполненным оценкам было сделано предварительное заключение, что при наиболее неблагоприятных условиях прохождения облака напрямую через Уссурийский залив радиоактивное загрязнение его противоположного берега (Владивостока и окраин) окажется на уровне, не требующем экстренной эвакуации населения (см. рис. 1). Далее специалисты Химической службы и расчётно-аналитической станции, а также других управлений флота экстренно убыли к месту аварии для принятия мер по оценке и нормализации радиационной обстановки на судоремонтном заводе.

Несмотря на такой предварительный прогноз, в течение первого часа после аварии химическому полку флота была дана команда провести ширококомасштабную радиационную разведку, включая Владивосток и прилегающие районы, а также до 15 населённых пунктов, вошедших в зону вероятного перемещения радиоактивного облака (радиус до 40–50 км). Через несколько часов результаты разведки показали: радиоактивное загрязнение нигде не обнаружено, что позволило сделать вывод о

рассеянии опасного облака над Уссурийским заливом. Выполненный ранее прогноз подтвердился, что позволило сконцентрировать все усилия на вопросах обеспечения безопасности и ликвидации последствий аварии. Радиационная разведка продолжалась ещё в течение нескольких месяцев, но касалась уже работ по реабилитации зданий, сооружений, дорог, цехов, территорий и акваторий.

Однако определить общую траекторию перемещения радиоактивных веществ в приземном слое атмосферы, их радиационные и радиоэкологические последствия в тот период было невозможно ввиду отсутствия полной информации о поле ветров над заливом Петра Великого и необходимых программных средств прогноза, адекватных сегодняшнему дню. Тем не менее исследования в этом направлении продолжались. К одному из таких этапов можно отнести период 1997–1998 гг., когда с использованием разработанного программного средства “Tracer” специалисты ИБРАЭРАН провели ретроспективный прогноз происшедших событий. В качестве граничных условий использовали натурные данные, полученные специалистами Тихоокеанского флота [9, 13]. В результате были восстановлены неизвестные ранее начальные характеристики радиоактивного загрязнения берегового следа (см. рис. 7). В частности, определено, что через 3–5 мин после взрыва в точках “А” и через 6–8 мин – в “Б” P_β составляла $\sim 50\,000$ расп/см²·мин и ~ 6000 расп/см²·мин соответственно. Через 11–13 мин (точка “В”) вследствие интенсивной фильтрации нижней части радиоактивного облака лесом P_β резко понизилась до ~ 900 расп/см²·мин. В итоге на берегу Уссурийского залива в 5,5 км от места аварии она уже не превышала 100 расп/см²·мин, а на удалении 5–7 км от берега оказалась сопоставимой с природным фоном – 3–5 расп/см²·мин. Соответственно, МЭД в точке “А” с 12–15 мР/ч на берегу Уссурийского залива понизилась до 2 мР/ч. Верхнего предела природного фона 0,02 мР/ч она достигла на акватории Уссурийского залива в 5–7 км от берега, среднего (0,01 мР/ч) – в 7–10 км.

Из результатов прогноза следовало, что после выхода радиоактивного облака за пределы судоремонтного завода (~ 600 м) основная масса радиоактивных веществ при его прохождении над полуостровом Дунай была сосредоточена в приземном слое атмосферы на высоте 30–150 м от уровня моря, чему способствовали низкая сплошная облачность и мелкий моросящий дождь, ограничивавшие его вертикальное распространение (высота сопков составляла 30–70 м). В этих условиях плотность выпадения ^{137}Cs и ^{90}Sr на береговом следе по мере удаления от места аварии постоянно снижалась от 0,07 до 0,001 Ки/км², что было меньше допустимого нормативами значения для обычного режима проживания населения (до 1 Ки/км²). Плотность выпадений ^{60}Co оказалась выше. На берегу Уссурийского залива она достигала

5 Ки/км², в центральной части полуострова Дунай – 50–100 Ки/км², а за пределами завода (500–600 м от места аварии) – более 200 Ки/км². В случае, если бы радиоактивный след прошёл через посёлок Дунай, могла возникнуть необходимость в отселении жителей, чего, к счастью, не произошло.

В результате проведённых исследований был уточнён выброс основных дозообразующих радионуклидов, величина которого по ^{60}Co составила $(1,2 \pm 0,3) \cdot 10^{13}$ Бк, ^{90}Sr – $4,1 \cdot 10^9$ Бк, ^{137}Cs – $4,4 \cdot 10^9$ Бк и ^{131}I – $37 \cdot 10^9$ Бк. Но и на этом этапе задача осталась нерешённой. После выхода радиоактивного облака на берег Уссурийского залива дальнейшее его перемещение по заливу Петра Великого и Приморскому краю определить не удалось.

Отдалённые и трансграничные переносы радионуклидов. Исследования в этой области продолжались не только в России, но и за рубежом. Например, японские и европейские специалисты в 1997–2002 гг. провели оценки последствий гипотетических аварий, которые могли бы произойти при утилизации российских АПЛ вблизи Владивостока. Одно из этих исследований по постановке задачи и исходным данным полностью согласовывалось с ядерной аварией, произошедшей в бухте Чажма летом 1985 г. Отличие состояло в выбранном направлении переноса радиоактивного облака, характерного для зимнего периода, когда преобладают ветры южного направления, перемещающие примесь к берегам Японии и Кореи, а также в том, что в этом исследовании не рассматривалось распространение радионуклидов морским путём.

Анализ переноса и распространения пассивной примеси был выполнен с помощью разработанной в JAERI (Japan Atomic Energy Research Institute) программы WSPEEDI, которую использовали для оценки радиационных последствий гипотетических аварий на японских АЭС с выбросом радионуклидов в приземный слой атмосферы. Программа верифицирована по результатам крупномасштабного эксперимента ETEX (European Tracer Experiment), в ходе которого регистрировали концентрации трассера на удалении до 2 тыс. км от источника, прогноз проводили по сетке с ячейками 50×50 км [14].

Расчёты показали, что через ~ 16 ч после инцидента вблизи Владивостока попавшие в атмосферу радионуклиды в результате турбулентной диффузии быстро рассеиваются над Японским морем. На удалении 100–300 км от источника их содержание в центральной части радиоактивного облака понижается в 10^{13} – 10^{15} , а на периферии – в 10^{16} – 10^{18} раз. Задав мощность выброса ^{131}I на уровне 29 ГБк [7], авторы показали, что при возникновении СЦР в реакторе со “свежим” ядерным топливом загрязнение воздуха на восточном побережье Японии не будет

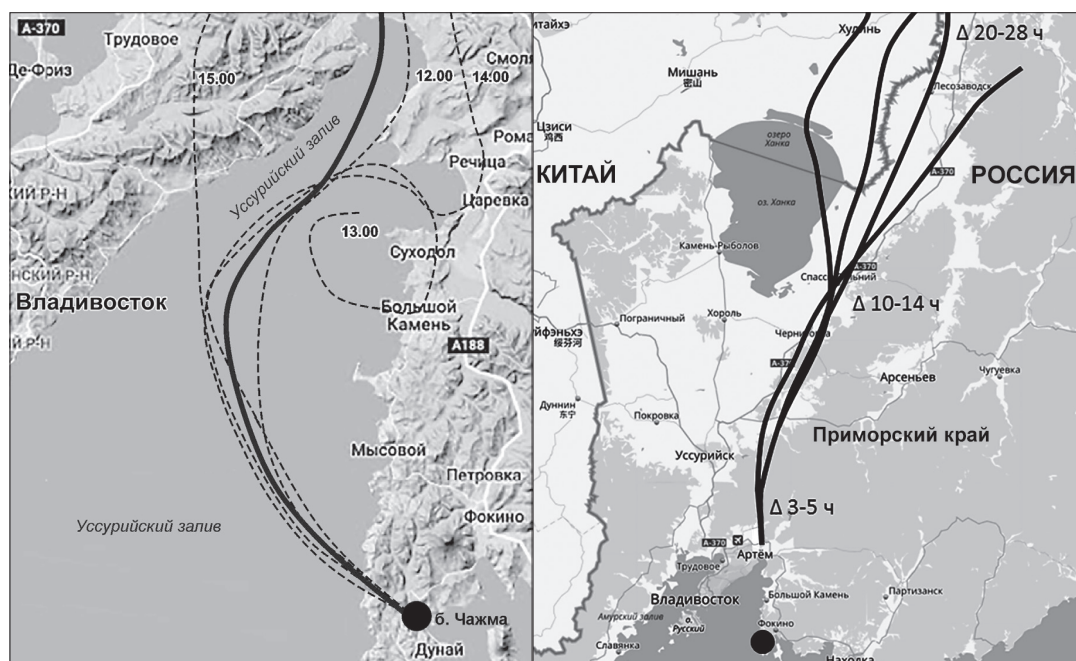


Рис. 8. Траектории перемещения воздушных масс над Уссурийским заливом с момента аварии с 12 до 15 ч 10 августа 1985 г. и территории Приморья–Китая в последующие 3–28 ч, построенные по данным ретроспективного прогноза

Сплошная линия на рисунке слева – осреднённая траектория

превышать $3 \cdot 10^{-3-5}$ Бк/м³. Используя результаты прогноза, сотрудники JAERI оценили дозы внутреннего и внешнего облучения населения Японии за счёт вдыхания воздуха и в результате оседания радиоактивных веществ на почву. Расчёты показали, что даже без учёта радиоактивного распада ¹³¹I, а также короткоживущих радионуклидов ¹³³I, ¹³⁵I и периодов полувыведения ¹³⁷Cs из организма человека ожидаемые дозы облучения для населения Японии будут малы и не превысят миллионных долей от годовой дозы естественного облучения населения, что безвредно для человека (аналогичные оценки получены для населения Кореи).

К такому выводу пришли в 2002 г. и европейские специалисты, проведя независимый прогноз для последствий гипотетических аварий с СЦР в реакторах на АПЛ вблизи Владивостока не только со “свежим”, но и с отработавшим ядерным топливом [15]. Однако исследования [14, 15] не преследовали цели комплексного прогноза переноса радиоактивных веществ воздушным и морскими путями, а также оценки последствий гипотетических аварий для населения Приморья, Китая, Японии и Кореи. Как известно, подобные исследования требуют учёта локальных особенностей орографии местности и морских акваторий в районе аварии, а также прилегающих областях и на границах перехода “берег–море–берег”, что затруднительно было осуществить имевшимися про-

граммными средствами прогноза с пространственным разрешением 50×50 км.

К следующему и наиболее полному этапу исследований по данной проблеме, который обобщает предшествующие работы, дополняет их новыми данными и целостным видением, можно отнести ретроспективный прогноз последствий аварии в бухте Чажма, выполненный в ИБРАЭ РАН в 2017 и 2018 гг.

Толчком для развития качественно новых методов моделирования послужила авария на АЭС “Фукусима-1” в 2011 г. С этого момента в ИБРАЭ РАН стали создавать систему прогнозирования радиационной обстановки на основе прогностических полей метеорологических параметров высокого пространственного разрешения 2×2 км на 40 уровнях по вертикали [16, 17]. Расчёты проводили с использованием прогнозов метеобстановки, выполненных Гидрометцентром России, и условий адаптации к особенностям района аварии.

В исследованиях по ядерной аварии в бухте Чажма области формирования радиоактивного следа охватывали все стадии его развития: начальная зона (6×5 км, ~20 мин после аварии) относится к образованию следа на полуострове Дунай, промежуточная (70×90 км, 0,3–3 ч после аварии) – акватории залива Петра Великого и завершающая (400×600 км, ~ 3–30 ч после аварии) – континен-

тальной части Приморского края и прилегающей к ней провинции Хэйлунцзян в северо-восточной части Китая.

Траекторный анализ перемещения воздушных масс в день аварии над полуостровом Дунай и заливом Петра Великого (ближайший – Уссурийский залив) выявил крайне сложный характер их передвижения (рис. 8). Наиболее компактно воздушные массы перемещались над лесным массивом полуострова Дунай, в результате чего образовался относительно узкий радиоактивный след. На удалении 5–15 км от берега в Уссурийском заливе потоки воздуха стали расходиться, а на выходе из него возникли разрывы, циркуляции и противотоки, вызванные неидентичностью берегового рельефа и, соответственно, скоростей ветра вдоль них. За пределами Уссурийского залива на юге Приморья передвижение воздушных масс стабилизировалось и приняло относительно устойчивое направление на север вплоть до озера Ханка, однако за ним в районе российско-китайской границы они стали вновь расходиться.

Прогноз изменения радиационной обстановки на полуострове Дунай в результате прохода радиоактивного облака показал, что на начальном этапе образования радиоактивного следа МЭД, обусловленная ^{60}Co , изменялась в пределах от нескольких десятков до единиц мР/ч. В Уссурийском заливе на удалении 12–15 км от берега она стала сравнимой с природным береговым фоном 10 мР/ч. По истечении 1,2–2 ч в результате интенсивного рассеяния в центральной части залива (20–40 км) МЭД резко понизилась до 1–0,1 мР/ч, не оказав существенного воздействия на рекреационную зону Владивостока (пляжи, места отдыха) и населённые пункты (рис. 9). Далее радиоактивное облако через вершину Уссурийского залива вышло на континентальную часть юга Приморья и стало перемещаться на север. Дополнительное увеличение МЭД почвы уже не превышало 1% от природного фона. В районе озера Ханка облако разделилось на две неравномерные части. Одна, меньшая, пошла вдоль государственной границы по территории Китая на север, вторая, большая – параллельно по территории России, постепенно превращаясь в мелкоразмерные образования, рассеивающиеся на обширном пространстве (рис. 10).

Из данных прогноза, приведённых на рисунке 10, видно, что на удалении 100 и 300 км от места аварии объёмная активность воздуха в приземном слое находилась на уровне 0,1–1,0 Бк/м³ и 0,01–0,1 Бк/м³ соответственно. Эти значения оказались в десятки, сотни и тысячи раз меньше среднегодовой допустимой объёмной активности по ^{60}Co (11 Бк/м³) и ^{131}I (7,3 Бк/м³) и не считаются опасными для населения.

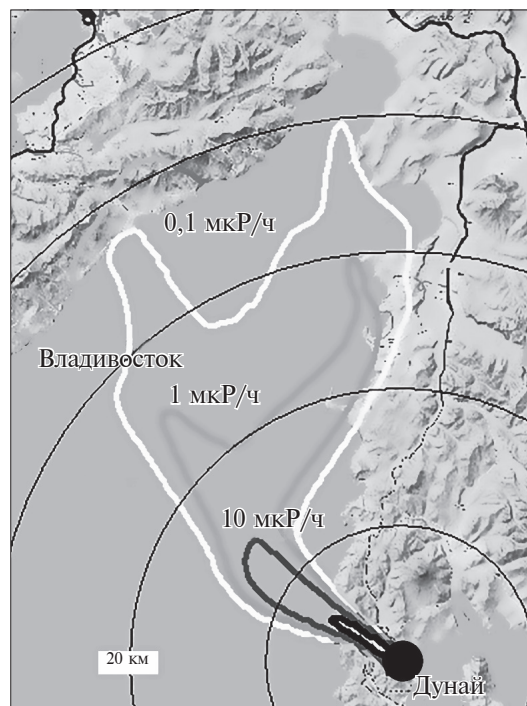


Рис. 9. Радиоактивное загрязнение полуострова Дунай и Уссурийского залива после ядерной аварии 10 августа 1985 г. на АПЛ К-431 (ретроспективный прогноз)

Возвращаясь к предшествующим событиям, следует отметить, что уже в вершине Уссурийского залива допустимая объёмная активность ^{60}Co находилась на уровне меньше нормы, в центральной его части соответствовала нескольким единицам, а на входе радиоактивного облака в залив превышала в тысячи и десятки тысяч раз. Но при таких обстоятельствах, ввиду меньшего (в сотни раз) исходного выброса ^{131}I в атмосферу по сравнению с ^{60}Co , содержание ^{131}I в приземном слое воздуха практически на всей акватории Уссурийского залива уже не превышало допустимой нормы. Уссурийский залив сыграл крайне важную роль защитного барьера, обеспечив безопасность населения Приморья и не допустив получения дополнительной дозовой нагрузки более долей единиц процентов по сравнению с природным радиоактивным фоном.

В течение многих лет после ядерной аварии не прекращались натурные исследования и модельные расчёты с целью воспроизведения динамики переноса техногенных радионуклидов не только воздушным путём, но и с морской водой. К последним относятся выполненные в 1997–1998 гг. совместно со специалистами США исследования ИБРАЭ РАН [18]. Построение поля течений в заливе Стрелок в интересах прогноза переноса техногенных радионуклидов из бухты Чажма в Японское море осуществляли специалисты Тихоокеанской северо-западной лаборатории США (Pacific Northwest Laboratory, Richland) с помощью океанической мо-

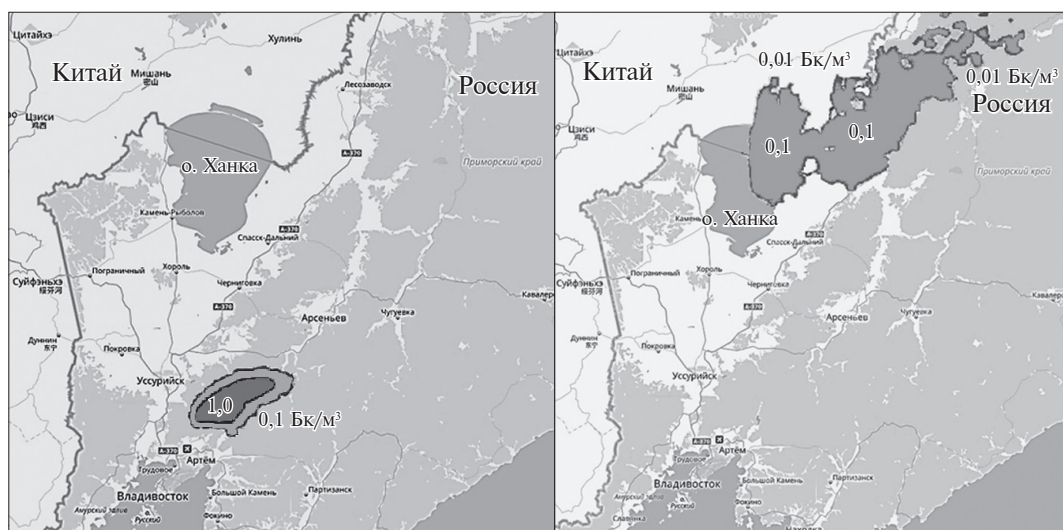


Рис. 10. Динамика развития радиоактивного облака и его перемещение над территорией Приморья и Китая через 6 и 20 ч после ядерной аварии в бухте Чажма (ретроспективный прогноз)

дели (Princeton Ocean Model, 1987), адаптированной к заливу Стрелок (пространственное разрешение 400×400 м). Результаты прогноза сопоставляли с экспериментальными данными, полученными в районе аварии на Тихоокеанском флоте [13].

Прогноз поля течений от поверхности залива до дна, а также последующие расчёты показали, что радиоактивные вещества после аварии выходили в Японское море преимущественно с поверхностным слоем воды через восточный проход залива Стрелок. В западный проход они поступали с гораздо меньшей скоростью и в ограниченном количестве, поскольку ввиду наличия в нём котловины глубиной от 5 до 25 м, отделённой от открытой части моря мелководьем, процесс переноса был замедлен. Радионуклиды в основном пе-

ремещались в среднем и придонном слоях воды и оседали на дно (рис. 11).

Быстрому выходу загрязнённой морской воды по поверхности западного прохода залива Стрелок в направлении кратчайшего расстояния до залива Петра Великого и Японского моря в день аварии и в течение последующих нескольких суток также препятствовали устойчивые ветры северных направлений, которые заставляли её двигаться в противоположную сторону — через восточный проход. По этой причине по восточному проходу залива Стрелок радионуклиды перемещались в течение 4–5 суток и при подходе к Японскому морю образовали обширный шлейф шириной 10–15 км.

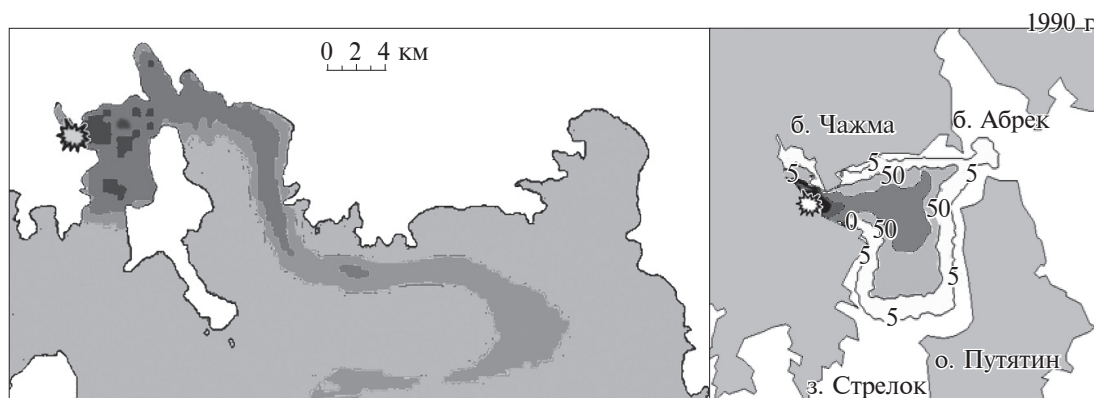


Рис. 11. Прогноз переноса радиоактивных веществ поверхностным слоем морской воды через западный (слева) и восточный (справа) проходы залива Стрелок. Фактическое загрязнение донных отложений западного и восточного прохода залива

Данные мониторинга 1990 г., Бк/кг

При начальном радиоактивном загрязнении поверхностного слоя морской воды вблизи аварийной АПЛ в бухте Чажма на уровне $\sim 2 \cdot 10^8$ Бк/м³ (в $5 \cdot 10^5$ раз выше допустимой концентрации — 370 Бк/м³ — для смеси радионуклидов неизвестного состава [12]) через 4–5 суток на выходе из восточного прохода залива Стрелок содержание радионуклидов в воде понизилось до 0,5–2 Бк/м³ (менее 0,01 допустимой концентрации). В течение последующих 5 суток в открытой части Японского моря это значение существенно уменьшилось, достигнув шестикратного разбавления (в миллионы раз) [19]. Соответственно, техногенные радионуклиды в концентрациях, превышающих допустимые значения, не достигли берегов Кореи и Японии и не оказали влияния на рыбный промысел в нейтральных водах Японского моря (рис. 12).

Эти исследования позволили прийти к очень важному заключению, что залив Стрелок также сыграл роль мощного природного защитного барьера по отношению к заливу Петра Великого и северо-западной части Японского моря. Особая важность отмеченного обстоятельства с учётом предшествующих исследований связана с тем, что последствия аварии вызывали серьёзную озабоченность населения не только Приморского края, но Японии, Кореи и Китая, так как все полагали, что радиоактивные вещества сразу после аварии по воздуху напрямую пошли на Владивосток, его пригороды и Китай, а загрязнённая вода попала в Японское море. Последующие совместные международные российско-японско-корейские морские экспедиции 1994, 1995 и 1997 гг. при участии представителей МАГАТЭ подтвердили отсутствие загрязнения донных отложений ⁶⁰Со в Японском море и других морях Тихоокеанского региона [20].

Человеческие потери, ущерб, нанесённый здоровью людей и окружающей среде, работы по радиоэкологической реабилитации. В результате воздействия ударной волны, высокой температуры и радиационных поражений мгновенно погибли находившиеся в реакторном отсеке восемь офицеров и два матроса. Ещё два человека скончались через несколько лет (офицер и бывший матрос). Наибольшую дозовую нагрузку получили военнослужащие, тушившие пожар и боровшиеся за живучесть тонущей АПЛ К-431, а также занимавшиеся экстренной дезактивацией АПЛ К-42, ПКДС-12 и ПМ-133. Статистика показала, что из выбранных $\sim 90\%$ числа участников реабилитации (1841 человек) наибольшие дозы получили военнослужащие: свыше 150 бэр — 1 человек, 100–150 бэр — 25 человек, 50–100 бэр — 23 человека, 25–50 бэр — 43 человека, 15–25 бэр — 36 человек, 5–15 бэр — 133 человека, 0,5–5 бэр — 643 человека и менее 0,5 бэр — 9 человек. Среди рабочих и служащих завода: 25–50 бэр — 2 человека, 15–25 бэр — 1 человек, 5–15 бэр — 41 человек, 0,5–5 бэр — 284 человека, менее 0,5 бэр — 600 человек [13].



Рис. 12. Распространение и кратность разбавления загрязнённой морской воды, поступившей из залива Стрелок в Японском море в течение 5 суток после аварии

1–6 — разбавление в 10^1 – 10^6 раз

На К-431 были разрушены ядерный реактор и отсек, вся АПЛ загрязнена радиоактивными веществами. Состояние АПЛ после столь тяжелой аварии исключало её восстановление, она долгие годы находилась в отстое в бухте Павловского. Позже её утилизировали до трёхотсечного блока на Дальневосточном заводе “Звезда” и в 2011 г. поместили в пункт изоляции в бухте Разбойник вблизи от места аварии. Стоявшая рядом АПЛ К-42 после аварии не эксплуатировалась, также была выведена из состава флота, длительное время находилась в отстое и в 2003 г. была утилизирована (одна из причин утилизации — радиоактивное загрязнение). Выполнявшая подъём крышки реактора плавучая мастерская ПМ-133 получила механические повреждения лёгкой и средней тяжести и высокое радиоактивное загрязнение. Долгое время её дезактивировали и ремонтировали, но ввели в строй, и она более 15 лет использовалась по прямому назначению (в настоящее время утилизирована).

Около 30% территории 30 судоремонтного завода и находившиеся на ней здания, сооружения, цеха подлежали многократной дезактивации. Наиболее важные из них ввели в эксплуатацию в течение 1–3 месяцев, остальные — поэтапно, они эксплуатировались в ограниченном режиме. Период реабилитации завода завершился через 9 месяцев. Больших усилий потребовала дезактивация пирсов, прибрежной полосы, прилегающей территории завода. О масштабах проведённых работ по радиоэкологической реабилитации свидетельствует такой пример. В течение 2 лет после аварии была ликвидирована сопка высотой 70 м, которая первой попала под радиоактивное облако и была сильно загрязнена. Её чистые подстилающие породы использовали для разбавления поверхностного радиоактивного загрязнения до допустимых

норм, и они пошли на другие нужды, что допускалось нормами радиационной безопасности.

Одновременно с работами по углублению дна в течение 3–5 лет после аварии была дезактивирована часть донных отложений в районе постройки новой причальной стенки для надводных кораблей в заводской акватории (~200 000 м²) и прилегающая к заводу со стороны озера-котлована технологическая площадка (~35 000 м²).

В 1992 г. ликвидировали временное хранилище радиоактивных отходов (~2000 м³), которое создали на радиоактивном следе в 2 км от завода в первые дни после аварии в целях экстренной дезактивации СРЗ-30. Для сбора отходов, накапливавшихся в течение 9 месяцев в результате дезактивации завода и прилегающих территорий, на 375-й береговой технической базе, которая располагалась в 7 км от посёлка Дунай, было создано пять траншейных хранилищ общей вместимостью ~8000 м³, которые заполнили полностью.

Береговой радиоактивный след на полуострове Дунай не удаляли, так как он находился на необитаемой части лесного массива. На второй день после аварии была выделена область максимального радиоактивного загрязнения (~2 км²), которую обозначили знаками радиационной опасности и оградили. На естественную дезактивацию были также оставлены загрязнённые донные отложения залива Стрелок (~30 км²) и прилегающая к радиоактивному следу часть Уссурийского залива (~40 км²) в силу незначительной радиоэкологической опасности.

Максимально загрязнённый участок бухты Чажма (~12000 м²) вокруг эпицентра аварии также был оставлен на естественную дезактивацию. Такое решение приняли в связи с невозможностью дезактивации находящихся на глубине до 30 м донных отложений из-за отсутствия необходимых технических средств. Последующий многолетний контроль показал, что радиационная обстановка в районе эпицентра в целом остаётся нормальной и отвечает действующим требованиям безопасности персонала и судов от всех видов излучений. Это связано с тем, что осевшие на дно техногенные радионуклиды надёжно экранируются 3–30-метровым слоем морской воды (слой воды 2–3 м в 10⁴ ослабляет гамма-излучение ⁶⁰Co). В морской воде до 0,5 м от дна содержание ⁶⁰Co соответствует 10–200 Бк/м³ (менее 0,05 допустимой концентрации), выше 3–5 м — < 1 Бк/м³, содержание ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr все годы остаётся на уровне фона 3–5 Бк/м³. В результате этого в фауне и флоре удельная активность техногенных радионуклидов не превышает 0,001–0,1 допустимой концентрации.

Решение об оставлении района эпицентра аварии на естественную дезактивацию имело социально-экономическое и радиоэкологическое обоснование. Оно базировалось на многолетних результатах расширенного мониторинга радиоэко-

логической обстановки в эпицентре аварии, которые выполняли специалисты флота совместно с радиобиологической лабораторией завода. Для этого ещё в начале 1990-х годов приступили к систематическому радиационному картографированию донных отложений и целевому отбору проб необходимых видов фауны и флоры. Изучалась динамика перемещения водных масс в придонном слое бухты Чажма, пространственно-временная трансформация области загрязнения, миграция радионуклидов по трофическим цепочкам. Это позволило осуществить прогноз изменения радиоэкологической обстановки в донных отложениях на 15 лет вперёд, до 2015 г. Он показал приемлемость режима естественной дезактивации, что постоянно подтверждалось экспертными оценками независимых организаций и контролирующих органов. Аналогичный подход применялся и для контроля за радиоэкологической обстановкой на береговом радиоактивном следе.

Кроме отмеченного выше, в принятии решения о естественной дезактивации сыграло большую роль и то обстоятельство, что оставление радиоактивного загрязнения на дне представляло меньшую опасность по сравнению с ожидаемыми высокими радиационными рисками, которые могли возникнуть в процессе выполнения работ по радиоэкологической реабилитации акватории. За прошедшие 30 лет выбранный подход полностью оправдал себя. И всё же проблема реабилитации акватории бухты Чажма не может считаться окончательно решённой в связи с тем, что в иловых осадках продолжают оставаться высокорadioактивные мелкие фрагменты разрушенной активной зоны реактора. К тому же в настоящее время уже появились приемлемые методы и способы дезактивации таких загрязнений [21].

Важно отметить, что последствия ядерной аварии были бы значительно тяжелее и масштабнее, если бы подобная авария произошла до перегрузки активной зоны, так как отработавшее топливо обладает значительно большим радиационным потенциалом, чем “свежее”.

* * *

Несмотря на сложившиеся неблагоприятные обстоятельства, основной причиной ядерной аварии на АПЛ К-431 следует считать человеческий фактор. Аварии можно было избежать при грамотном проведении работ и высокой ответственности за порученное дело руководителя перегрузки, принявшего недопустимое решение по применению нештатного способа использования комплекта перегрузочного оборудования при подъёме крышки реактора, а также руководителей верхнего уровня, отвечавших за подготовку

и выполнение этой операции. Требованиями по мерам ядерной безопасности при подъёме крышки реактора с заполненной активной зоной и теплоносителем запрещено пребывание в отсеке посторонних лиц, за исключением работающей смены, что было нарушено и привело к гибели не причастных к операции военнослужащих. Кроме этого, в соответствии с инструкцией, при подъёме крышки реактора с использованием плавкрана ПМ-133 на случай непредвиденных событий акватория, на которой ведутся ядерно-опасные работы, должна закрываться, что также не было исполнено.

Важная физическая особенность при выполнении работ по подъёму крышки реактора, загруженного “свежим” ядерным топливом, состоит в том, что пусковое положение компенсирующей решётки для реактора ВМ-А составляло всего несколько десятков миллиметров от её крайнего нижнего положения, в то время как для отработавшей зоны это расстояние было во много раз больше. Поэтому при загруженной “свежим” топливом активной зоне даже незначительное перемещение решётки вверх могло привести к неконтролируемой самоподдерживающейся цепной реакции. Однако на эту потенциальную опасность не было обращено специальное внимание исполнителей, и физик, недооценив её, погиб вместе с другими военнослужащими.

С учётом недостатков технического устройства, которое использовалось для обеспечения безопасности подъёма крышки при перегрузке топлива в реакторах ВМ-А на АПЛ первого поколения, последующие поколения реакторов имеют более совершенное оборудование, их конструкция исключает несанкционированное перемещение компенсирующих органов при подъёме крышки.

До освоения и широкого использования ядерной энергетики обеспечение безопасности объектов техносферы ограничивалось применением различных технических средств. Специфика атомной энергетики потребовала более широкого подхода, который получил название “культура безопасности” [22]. Культура безопасности — новое для инженерной практики понятие, смысл которого заключается в отношении человека к проблемам безопасности при выполнении служебных обязанностей. Согласно принятым международной консультационной группой по ядерной безопасности (INSAG) определениям, это набор характеристик и особенностей деятельности организаций и отдельных лиц, в котором безопасности работы объектов ядерной энергетики отдаётся высший приоритет.

Уроки тяжёлой ядерной аварии в бухте Чажма ещё раз доказывают непреложность строгого выполнения положений культуры безопасности, отсутствия которой явилось одной из основных причин взрыва на АПЛК-431.

Исследования проведены при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 17–19–01674).

ЛИТЕРАТУРА

1. Роль российской науки в создании отечественного подводного флота / Под общей редакцией А.А. Саркисова. М.: Наука, 2008.
2. Саркисов А.А., Гусев Л.Б., Калинин Р.И. Основы теории и эксплуатации судовых ядерных реакторов. М.: Наука, 2008.
3. Саркисов А.А., Пучков В.Н. Физика переходных процессов в ядерных реакторах. М.: Энергоатомиздат, 1983.
4. Сивинцев Ю.В., Вакуловский С.М., Высоцкий В.Л. и др. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. Радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря (“Белая книга-2000”). М.: ИздАТ, 2005.
5. Маклафлин Т.П., Шан П. и др. Обзор ядерных аварий с возникновением СЦР. США. Лос-Аламос, Нью-Мексико 87545. Лос-Аламосская национальная лаборатория LA-13638, 2003.
6. Сивинцев Ю.В. Число делений при аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма в 1985 г. // Атомная энергия. 2000. Т. 89. Вып. 3. С. 256.
7. NATO/CCMS Pilot Study: Cross-Border Environmental Problems Emanating from Defence-Related Installations and Activities, Phase 11: 1995–1998, Final Report, v. 4, Environmental Risk Assessment for Two Defence-Related Problems, Report No. 227, NATO, 1998.
8. Сивинцев Ю.В. Была ли авария в Чажме дальневосточным Чернобылем // Атомная энергия. 2002. Т. 94. Вып. 6. С. 472–479.
9. Арутюнян Р.В., Данилян В.А., Высоцкий В.Л. и др. Анализ и оценка радиоэкологических последствий ядерной аварии в бухте Чажма. М.: Препринт № IBRAE-98-09, 1998.
10. Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Данилян В.А. Радиоэкологические последствия радиационной аварии на атомной подводной лодке в бухте Чажма // Атомная энергия. 1994. Т. 76(2). С. 158–160.
11. Чайковская Э.Л., Высоцкий В.Л., Гичев Д.В. Закономерности формирования радиационной обстановки на территории Приморского края // Атомная энергия. 2001. Т. 91. Вып. 3. С. 223–237.
12. Руководство по контролю за радиоактивным загрязнением внешней среды и внутренним облучением личного состава кораблей с атомны-

- ми энергетическими установками (ПКВС-90). М.: Воениздат, 1991.
13. Данилян В.А., Высоцкий В.Л., Андреев А.А. и др. Авария ядерной энергетической установки АПЛ К-431 10 августа 1985 года на 30 СРЗ ВМФ в бухте Чажма. Владивосток: Материалы доклада Командующего ТОФ представителю Президента РФ по Приморскому краю, 1992.
 14. Takano M. et al. Reactivity Accident of Nuclear Submarine near Vladivostok // J. of Nucl. Science and Technology. 2001. V. 38. № 2. P. 143–157.
 15. Compton K.L., Novikov V.N., Parker F.L., Sivintsev Yu.V. The Radioactive Legacy of the Russian Pacific Fleet Operations and Its Potential Impact on Neighboring Countries. Austria, Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis, Final Review Draft, 2002.
 16. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Припачкин Д.А. и др. Оценка выброса радионуклидов при аварии на АЭС Фукусима-1 (Япония) // Атомная энергия. 2012. Т. 112. Вып.3. С. 159–163.
 17. Арутюнян Р.В., Припачкин Д.А., Сороковикова О.С. и др. Система ПАРРАД и её испытания на реальных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу // Атомная энергия. 2016. № 3. С. 169–173.
 18. Migration of Radioactive Contaminants from the 1985 Chazhma Bay Submarine Reactor Accident and Fire – Joint U.S.-Russian SCOPING Investigation. Richland, Washington. Pacific Northwest National Laboratory – PNNL. Moscow. Nuclear safety Institute (IBRAE) of the Russian Academy of Sciences. 1998.
 19. Антипов С.В., Саркисов А.А., Высоцкий В.Л. и др. Радиоэкологические последствия эксплуатации и утилизации объектов атомного флота в Дальневосточном регионе. М.: ИБРАЭ РАН, 2010.
 20. Pettersson H.B.L., Amano H., Berezhnoy V.L., Chaykovskaya E. et al. Anthropogenic Radionuclides in Sediments in the NW Pacific Ocean and its Marginal Seas: Results of the 1994–1995 Japanese-Korean-Russian expeditions // The Science of the Total Environment. 1999. V. 237/238. P. 213–224.
 21. Саркисов А.А., Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Никитин В.С. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. Радиоэкологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей. М.: Юлис, 2015.
 22. Саркисов А.А. Феномен восприятия общественным сознанием опасности, связанной с ядерной энергетикой // Вестник РАН. 2012. № 1. С. 9–18.

ТОЧКА
ЗРЕНИЯ

ПОНЯТИЕ “ВЕРОЯТНОСТЬ” И ТРУДНОСТИ ЕГО ИНТЕРПРЕТАЦИИ

© 2018 г. В.Ф. Писаренко

Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, Москва, Россия

E-mail: pisarenko@yasenevo.ru

Поступила в редакцию 16.02.2018 г.

В статье обсуждаются прикладные аспекты понятия “вероятность” и смысл, который вкладывают в него исследователи различных областей науки. Рассматриваются частотный (объективистский) и субъективистский подходы, обсуждаются неопределённости и трудности интерпретации понятия в прикладных науках и реальной жизни. Основной вывод сводится к тому, что противопоставлять субъективистский подход частотному или называть любой из них более плодотворным нет оснований. Оба полезны при решении практических проблем и их разумном использовании.

Ключевые слова: вероятность, частотный подход, субъективистский подход, популяция, теорема Байеса.

DOI: 10.31857/S086958730000084-0

Понятие “вероятность”, применяемое во многих областях современной науки и в практической жизни, имеет два аспекта: математический и прикладной. Что касается математического, то здесь разногласий в его трактовке среди учёных нет. Согласно общепринятой аксиоматике А.Н. Колмогорова, вероятность — это неотрицательная, нормированная к единице мера, заданная на σ -алгебре пространства элементарных событий [1, 2]. По поводу прикладного аспекта вероятности специалисты так и не пришли к единому мнению. Приняты два основных подхода с некоторыми разновидностями: объективистский (или частотный) [3–6] и субъективистский [7–9]. При объективистском подходе вероятность некоторого события понима-

ется как устойчивая частота его появления в длинном ряду повторных экспериментов, проводимых в идентичных условиях и независимо друг от друга. С точки зрения А.Н. Колмогорова, “вероятности — суть объективные характеристики тех явлений, которые в силу некоторых своих внутренних свойств обладают *частотной устойчивостью*; вероятность события не зависит от каких-либо субъективных мнений” [10, с. 270, 11, 12].

Как пример использования частотного подхода рассмотрим оценку вероятности (p) *отсутствия* сильного землетрясения с магнитудой более 6,2 за время, равное одной неделе. Для этой цели воспользуемся общепризнанным Гарвардским каталогом землетрясений и проанализируем 1976–2005 гг. За этот период произошло примерно 3,5 тыс. землетрясений с глубинами очага менее 70 км и магнитудами более 6,2, потенциально опасными для населения Земли. Посмотрим, как меняется оценка вероятности по мере накопления данных. Пусть из первых k недель $n(k)$ оказались асейсмичными (землетрясений в этот период не было). Берём естественную оценку вероятности $p = n(k)/k$ и смотрим, как трансформируется её график (рис.). Сначала он сильно флуктуирует, а затем, как и предполагает частотный подход, стабилизируется около значе-



ПИСАРЕНКО Владилен Фёдорович — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ИТПЗ РАН.

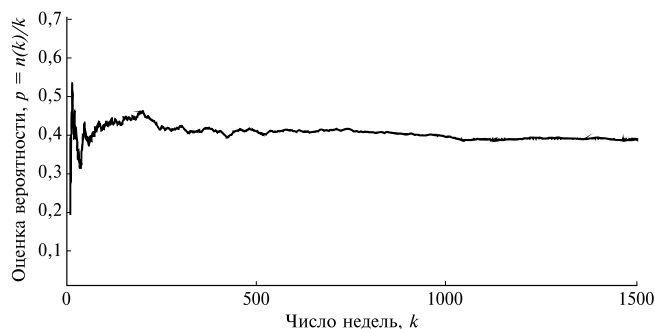


Рис. 1. Изменение оценки вероятности p по мере накопления данных

ния 0,398, которое естественно принять за оценку вероятности p .

При объективистском подходе, говоря о вероятности, имеют в виду определённую идеализированную модель эксперимента, которую можно хотя бы мысленно повторять. При этом возникает необходимость в таком понятии, как “популяция” (“ансамбль реализаций”), что с самого начала исключает из рассмотрения уникальные события. Например, объективисту было бы сложно интерпретировать смысл рассматриваемого понятия в такой фразе: “Вероятность того, что наша Вселенная образовалась примерно 14 млрд лет назад в результате гигантского взрыва, равна 0,9”. Вселенная возникла каким-то одним способом, и с этим фактом приходится считаться. Популяцию здесь придумать трудно, но в некоторых случаях — можно. Например, когда речь идёт о популяции планет с условиями, похожими на земные. Правда, рассмотрение вопроса оказывается малосодержательным, если нас интересует не вся популяция, а один из её членов — планета Земля и её спутник Луна.

Непросто придать строгий статистический смысл утверждению “Вероятность того, что Луна произошла в результате падения на Землю гигантского метеорита, равна 0,75”. Выдающийся математик Вильям Феллер говорил об объективистском подходе так: “В нашей системе нет места для предположений, связанных с вероятностью того, что завтра (в конкретный день конкретного года) взойдёт Солнце. Прежде чем говорить о такой вероятности, мы должны были бы условиться об (идеализированной) модели эксперимента, и она выглядела бы примерно так: случайным образом выбирается один из бесконечного числа миров... Небольшого воображения достаточно, чтобы построить такую модель, но она окажется и неинтересной, и бессмысленной” [5; 6, с. 15]. При объективистском подходе вероятность некоторого события понимается как устойчивая частота его появления в длинном ряду повторных экспериментов, проводимых в идентичных условиях и независимо друг от друга.

Однако в жизни нередко бывают случаи, когда термин “вероятность” употребляется по отношению к явлениям или гипотезам, для описания которых нет полной или достаточной информации. И тогда в понятие “вероятность” вкладывают смысл не объективной характеристики явления, а субъективной оценки данного эксперта (группы экспертов), которая выражает его личную уверенность, что явление произойдёт (гипотеза подтвердится). При субъективистском подходе *любому* событию или предложению можно приписать вероятность как меру правдоподобия осуществления данного события или предложения [8]. Таковы субъективные (персональные) вероятности, введённые Леонардом Сэвиджем [7], а также интуитивные вероятности [9]. Субъективистский подход не требует обязательного введения популяции и включения частотной интерпретации вероятности, при этом сами вероятности могут быть приписаны уникальным событиям — таким, как:

- Рим был основан Ромулом;
- гипотеза Римана о нетривиальных нулях дзета-функции верна (может быть строго доказана);
- загадочный узник Бастилии, который в реестре тюрьмы проходил под именем “Железная маска”, был братом Людовика XIV;
- на Марсе есть развитая органическая жизнь.

Эксперты могут обладать большим опытом и важной информацией, но и то и другое трудно формализовать. Они используют знания неформально, прибегая к своей богатой интуиции. Типичный пример — медицинская диагностика. Симптомы того или иного заболевания часто проявляются нечётко, смазанно. В таких случаях диагноз определяют, используя понятие вероятности. При этом не всегда руководствуются частотной вероятностью, основанной на многочисленных экспериментах, чаще — лишь мнением данной группы экспертов (консилиума). Для другой группы оно может быть иным. Таким образом, при субъективистском подходе вероятность — это степень (мера, количественная оценка) персонального доверия данного эксперта (группы экспертов) или степень правдоподобия, которую он приписывает истинности своего предположения. Для оперирования с вероятностями разработан математический аппарат, который можно применить и к субъективным вероятностям при обработке мнений экспертов.

Во многих практических ситуациях эксперты субъективно оценивают не сами вероятности, а некоторые средние характеристики, основанные на вероятностях. Их можно нормировать так, чтобы они принимали значения от нуля до единицы, и интерпретировать как субъективные вероятности. Иногда такой способ становится единственным возможным для количественной оценки некото-

рых явлений, так как нет соответствующих физических приборов и методов измерения. И он широко распространён, например, на соревнованиях по спортивной гимнастике, фигурному катанию, на конкурсах вин. При обработке такого рода субъективных мнений часто используют систему отбрасывания высшего и низшего баллов перед усреднением оценки фигуриста, которую можно обосновать с помощью статистической теории робастных оценок. Поясним её суть. Если есть ряд оценок от группы экспертов x_1, \dots, x_n и опасения, что среди них могут встречаться “необъективные” (например, некоторые эксперты могут давать завышенный балл своим фаворитам и заниженный — соперникам), то статистика рекомендует использовать так называемые урезанные оценки среднего балла — их ещё называют олимпийскими или тримминг-оценками (англ. *trimming* — подстригание). Метод тримминг-оценок заключается в том, что вместо среднеарифметического значения $(x_1 + \dots + x_n)/n$ для оценки рекомендуется брать урезанное среднее (англ. *trimmed mean*), которое получается с помощью отбрасывания m наибольших значений выборки x_1, \dots, x_n и m наименьших значений с последующим усреднением оставшихся баллов. Если обозначить упорядоченную по возрастанию выборку x_1, \dots, x_n через $y_1 \leq y_2 \leq \dots \leq y_n$, то усечённое среднее равно $(y_{n+1-m} + y_{n+2-m} + \dots + y_{n-m})/(n-2m)$, где m — некоторое число, подбираемое для данной задачи с учётом рекомендаций теории вероятностей. Таким образом, тримминг-оценки гарантируют от попадания в конечную оценку m “необъективных” баллов как с наибольшей, так и с наименьшей стороны. Подробная теория изложена в математической статистике.

Часто субъективные, экспертные вероятности используют в сочетании с классическими частотными, например, при статистическом анализе возможных военных операций. В таких случаях объективные частотные вероятности могут относиться к оценкам метеорологических условий, экономических факторов, а субъективные вероятности — к политическим решениям, социальным явлениям. Однако надо помнить, что, несмотря на наличие частотных вероятностей, “окончательные” вероятности в смешанных случаях следует рассматривать как субъективные. Они отражают не только (и иногда не столько) объективную реальность изучаемого явления, но и состояние, и уровень знания конкретной группы экспертов. Это, образно говоря, шум, вносимый экспертами, величину которого иногда трудно оценить. Например, до Николая Коперника и Галилео Галилея справедливость утверждения, что Солнце вращается вокруг Земли, а не наоборот, могла бы, по мнению “экспертов”, иметь вероятность 0,999. До Альберта Эйнштейна утверждение о том, что в природе существуют объекты, движущиеся со скоростью, превышающей скорость света, поддерживалось бы “экспертами” с высокой степенью вероятности.

Рассмотрим в качестве примера использования субъективных вероятностей формулу, разработанную в 1960 г. профессором астрономии и астрофизики Калифорнийского университета Фрэнком Дональдом Дрейком для оценки числа внеземных цивилизаций в нашей Галактике — Млечном Пути, с которыми у человечества есть шанс вступить в контакт [13, р. 55–62]:

$$N = R \cdot f_p \cdot n_c \cdot f_i \cdot f_l \cdot f_c \cdot L,$$

где N — количество разумных цивилизаций, готовых вступить в контакт; R — количество звёзд, образующихся за год в нашей Галактике; f_p — доля звёзд, обладающих планетами; n_c — среднее количество планет и спутников с подходящими для зарождения цивилизации условиями; f_i — вероятность зарождения жизни на планете с подходящими условиями; f_l — вероятность возникновения разумных форм жизни на планете, на которой есть жизнь; f_c — отношение количества планет, разумные жители которых способны к контакту и ищут его, к количеству планет, на которых есть разумная жизнь; L — время жизни такой цивилизации, то есть период, в течение которого цивилизация существует, способна и хочет вступить в контакт.

По поводу значений параметров высказываются разные мнения. Приведём числа, использованные Дрейком в 1961 г. (<http://ru.wikipedia.org>): $R = 10/\text{год}$ (в год образуется 10 звёзд); $f_p = 0,5$ (половина звёзд имеет планеты); $n_c = 2$ (в среднем две планеты в системе пригодны для жизни); $f_i = 1$ (если жизнь возможна, она обязательно возникнет); $f_l = 0,01$ (1% вероятности, что жизнь разовьётся до разумной); $f_c = 0,01$ (1% цивилизаций может и хочет установить контакт); $L = 10\,000$ лет (технически развитая цивилизация существует 10 тыс. лет). Таким образом, согласно уравнению Дрейка,

$$N = 10 \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 0,01 \cdot 0,01 \cdot 10\,000 = 10.$$

Это говорит о том, что шансы вступить в контакт с внеземной цивилизацией достаточно высоки.

Однако современные оценки данных параметров, основанные на мнении групп экспертов, другие. По последним результатам NASA и Европейского космического агентства, $R = 7/\text{год}$ (против 10 по Дрейку). Величина f_p , оценённая Дрейком как 0,5, не вызывает сегодня дискуссий. Величине n_c , равной, по Дрейку, 2, приписывают в настоящее время меньшее значение. На данный момент известно более 3,6 тыс. экзопланет, из которых 52 потенциально обитаемы, что даёт $n_c = 0,014$. При этом планета может находиться в условно обитаемой зоне, но быть безжизненной, например, из-за отсутствия некоторых химических элементов. По этой причине n_c может иметь крайне малое значение. Вероятность возникновения жизни в подходящих условиях (f_l) Дрейк оце-

нил как 1. В 2002 г. физики-теоретики и космологи Чарльз Лайнвивер и Тамара Дэвис подсчитали, что для планет с историей более чем в 1 млрд лет, $f_i = 0,13$ [14]. Есть и более пессимистичные субъективные мнения относительно вероятности возникновения жизни [15]. Вероятность развития цивилизации до появления разума (f_i) и доля цивилизаций, имеющих возможность и желание установить контакт (f_c), равны, по Дрейку, 0,01 — с этой оценкой сегодня согласны многие исследователи. Ожидаемая продолжительность жизни цивилизации, в течение которой она производит попытки установить контакт (L), Дрейк оценил в 10 тыс. лет. Американский историк и популяризатор науки Майкл Шермер считает, что время жизни цивилизаций в формуле Дрейка сильно переоценено. По его данным, основанным на изучении 60 исторических цивилизаций, $L = 420$ лет [16]. Но поскольку падение цивилизаций не всегда сопровождалось полной потерей технологий, их нельзя рассматривать как отдельные в смысле уравнения Дрейка, поэтому 10 тыс. лет по-прежнему остаются наиболее популярной величиной.

Итак, приведём современные оценки параметров уравнения Дрейка: $R = 7/\text{год}$, $f_p = 0,5$, $n_c = 0,014$, $f_i = 0,13$, $f_i = 0,01$, $f_c = 0,01$, $L = 10\,000$ лет. В результате получаем:

$$N = 7 \cdot 0,5 \cdot 0,014 \cdot 0,13 \cdot 0,01 \cdot 0,01 \cdot 10\,000 = 0,00637.$$

Такая оценка означает, что практически мы не можем надеяться на осуществление реального контакта с внеземными цивилизациями.

Столь большая разница оценок получилась в основном за счёт различия двух параметров: вероятности зарождения жизни на планете с подходящими условиями (f_i) и среднего количества планет с подходящими условиями для зарождения цивилизации (n_c). Разные группы экспертов оценили их по-разному. Из этого следует, что практические решения, принимаемые на основе уравнения Дрейка, могут существенно отличаться в зависимости от того, чьи субъективные оценки вероятностей используются. Казалось бы, подобные факты должны заставить исследователей отказаться от применения субъективных вероятностей. Между тем отбрасывать их тоже неразумно, так как в некоторых случаях (таких как уравнение Дрейка) взамен предложить нечего. Отсюда вывод: противопоставлять субъективные и частотные вероятности нет оснований, каждая из них имеет свою область применения. Но надо помнить, что используемая при субъективистском подходе вероятностная терминология если и имеет разумный смысл, то часто отличный от объективистского и более туманный и расплывчатый. Применяя субъективные вероятности, не следует выдавать результаты как объективную

истину, подтверждённую теорией вероятностей. Вместе с тем оба эти понятия призваны измерять количественно меру правдоподобия (истинности) изучаемых явлений. К ним в большинстве случаев применим один и тот же математический аппарат, в частности, знаменитая теорема Томаса Байеса, которая устанавливает, как изменится вероятность наступления некоторого события, если произошло другое событие, с ним связанное.

Строго говоря, и объективистский частотный подход несовершенен. Используемые при этом понятия “частотная устойчивость”, “эксперименты в одинаковых условиях”, “достаточно большой ряд экспериментов” и т.п. не вполне точны. Во многих случаях термин “вероятность” применяют для серии экспериментов, которые не являются абсолютно идентичными. Скажем, при проведении физических экспериментов с измерениями параметров эволюции планет Солнечной системы трудно соблюсти одинаковые условия из-за того, что эта система, да и вся Вселенная в конце концов эволюционируют нестационарно, начиная от Большого взрыва. И если для многих физических проблем это свойство несущественно, поскольку изучаются очень малые промежутки времени, то для большинства геологических и геофизических проблем им нельзя пренебречь. Например, нельзя пренебречь вековыми трендами при определении вероятностей (распределений) климатических параметров. Интерпретацию вероятности в геофизических процессах можно найти в статье [17]. Неопределённость заложена и в понятии “частотная устойчивость”. Но, несмотря на эти шероховатости, объективистский подход и частотная вероятность — термины содержательные. Пользу от их применения и качество интерпретации результатов, несомненно, можно увеличить, указывая точность статистических оценок вероятности. Этим проблемам посвящена значительная часть математической статистики.

Отметим, что объективистской точки зрения на вероятность придерживались такие выдающиеся математики, как А.Н. Колмогоров, В. Феллер, Дж.Л. Дуб, Г. Крамер, Р. Мизес, Р. Фишер.

Далее рассмотрим теорему Байеса, поскольку она является мощным статистическим методом, который может использовать как объективистские, так и субъективистские вероятности. Возьмём два события — A и B . Например, событие A может состоять в утверждении, что команда России выйдет в финал Кубка мира по футболу в 2018 г., а событие B — в том, что команда России выиграет все игры в своей подгруппе. Обозначим вероятность осуществления событий $P(A)$ и $P(B)$ соответственно. $P(A)$ назовём *априорной вероятностью события A*. Осуществление события B увеличивает шансы реализации события A , так как успех в предварительных играх свидетельству-

ет о хорошей спортивной форме команды. Формула Байеса количественно показывает, насколько увеличиваются эти шансы. По имеющимся статистическим данным о прошлых чемпионатах можно оценить условную вероятность того, что команда, прошедшая без поражений в своей группе, в дальнейшем попадает в финал. Условная вероятность $P(A/B)$ равна отношению вероятности совместного осуществления событий A и B , обозначаемой как $P(A \cap B)$, к вероятности события B при условии, что последняя не равна 0:

$$P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}. \quad (1)$$

Имеем:

$$P(A \cap B) = P(B/A) \cdot P(A); P(B) = P(B/A) \cdot P(A) + P(B/\bar{A}) \cdot P(\bar{A}),$$

где через $P(\bar{A})$ обозначена вероятность ненаступления события A : $P(B/\bar{A}) = 1 - P(A)$, а через $P(B/A)$ — условная вероятность события B при наступлении события A . Отсюда получаем:

$$P(A/B) = \frac{P(B/A) P(A)}{P(B/A) P(A) + P(B/\bar{A}) P(\bar{A})}. \quad (2)$$

Это и есть знаменитая теорема (правило) Байеса. Имея в начале априорную вероятность $P(A)$ события A , мы получаем информацию, что произошло событие B . Применяя правило Байеса, основанное на формуле (1), мы получаем новое значение условной вероятности по формуле (2), где используется информация о наступлении события B . Формулу Байеса можно написать не только для событий, но и для численных параметров X какой-либо физической задачи. В этом случае вместо вероятностей событий в (2) будут стоять плотности вероятности $f(X)$ параметров X (априорные и условные).

Наглядным примером может служить букмекерская практика, где с помощью теоремы Байеса вычисляют шансы соперников в различного рода соревнованиях. По мере приближения даты соревнования эти шансы могут меняться и уточняться. Теорему Байеса применяют здесь непосредственно. Полученное по прошлым данным распределение шансов берут в качестве априорного распределения, добавляют новую информацию и получаемое по теореме Байеса условное распределение предлагают в качестве новой, уточнённой рекомендации. Букмекеры могут учитывать как частотные оценки (скажем, статистические результаты прошлых соревнований), так и субъективные мнения экспертов.

Теорема Байеса об апостериорной вероятности получает в качестве входа *априорное распределение* некоторого параметра (гипотезы, случайного события), а на выходе выдаёт полученное после опыта

его *условное (апостериорное) распределение*, на основе чего мы делаем выводы и принимаем решение. Эта теорема как бы уточняет априорные сведения о параметре — априорную вероятность $P(A)$ или априорную плотность вероятности $f(X)$, используя информацию, полученную опытным путём.

Априорное распределение иногда можно задать, исходя из прошлого опыта, в том числе из предыдущих частотных вероятностных оценок. Однако чаще всего неизвестно, чему равна априорная вероятность $P(A)$ или плотность вероятности $f(X)$. В таких случаях, чтобы решить задачу с помощью теоремы Байеса, задают априорное распределение с равными шансами: $P(A) = P(\bar{A}) = 0,5$. При этом ссылаются на очевидное равенство априорных шансов или используют за неимением лучшего равномерное априорное распределение $f(X)$ в некоторой области, выбор которой часто произволен. Подобные доводы не всегда аргументированы и убедительны. Главным фактом, обосновывающим применение произвольного (непрерывного и отличного от нуля во всей области возможных значений) априорного распределения в правиле Байеса, может служить теорема, доказывающая асимптотическую эквивалентность байесовских оценок и классических эффективных оценок максимального правдоподобия [18]. Она свидетельствует о том, что влияние априорного распределения на окончательный вывод уменьшается с ростом объёма выборки X и в пределе исчезает. Таким образом, можно не опасаться влияния априорного распределения на окончательный результат, если выборка достаточно велика.

Следует также отметить, что применение *наименее благоприятного априорного распределения* в байесовском подходе вполне разумно и оправдано с точки зрения вероятностного *минимаксного критерия*, в котором минимизируется наибольший возможный риск (вероятность ошибочного решения при проверке гипотез или какая-либо характеристика отклонения оценки параметра от истинного значения).

Рекомендации, полученные исходя из интуитивных (субъективных) априорных распределений, требуют большей осторожности в применении и интерпретации. Об этом свидетельствует следующий исторический пример. Статистика Максвелла—Больцмана в классической механике получается из “естественного” случайного распределения частиц по элементам фазового пространства [5, 6]. Однако при переходе к квантовой механике оказалось, что этой статистике не подчиняется *ни одна из известных частиц*. Физикам пришлось заменить “естественное” случайное распределение Больцмана на распределение Эйнштейна—Бозе (для фотонов и некоторых других частиц) и Ферми—Дирака (для электронов и некоторых других частиц). В данном случае интуитивно оправданное равномерное априорное распределение частиц потерпело неудачу в квантовой механике.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Kolmogorov A.N.* Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Berlin: Springer, 1933.
2. *Колмогоров А.Н.* Основные понятия теории вероятностей. М.—Л.: ОНТИ, 1936.
3. *Cramer H.* Mathematical Methods of Statistics. Princeton: Princeton University Press, 1946.
4. *Крамер Г.* Математические методы статистики. М.: Государственное издательство иностранной литературы, 1948.
5. *Feller W.* Introduction to Probability Theory and its Applications. NY: Wiley & Sons, 1957.
6. *Феллер В.* Введение в теорию вероятностей и её приложения. Т. 1. М.: Мир, 1964.
7. *Savage L.* The Foundations of Statistical Inference: a Discussion. NY: Wiley & Sons, 1962.
8. *Jeffreys H.* Theory of Probability (3rd ed.). London: Clarendon, 1961.
9. *Koopman B.* The Axioms and Algebra of Intuitive Probability // Ann. Math. Stat. 1940. V. 41. P. 269—292.
10. *Колмогоров А.Н.* Теория вероятностей // Математика. Её содержание, методы и значение. М.: Изд-во АН СССР, 1956.
11. *Колмогоров А.Н.* Три подхода к определению понятия “количество информации” // Проблемы передачи информации. 1965. Т. 1. Вып. 1. С. 3—11.
12. *Колмогоров А.Н.* К логическим основам теории информации и теории вероятностей // Проблемы передачи информации. 1969. Т. 5. Вып. 3. С. 3—7.
13. *Drake F., Sobel D.* Is Anyone Out There? The Scientific Search for Extraterrestrial Intelligence. NY: Delacort Press, 1992.
14. *Lineweaver C.H., Davis T.M.* Does the rapid appearance of life on Earth suggest that life is common in the universe? // Astrobiology. 2002. V. 2. № 3. P. 293—304.
15. *Kunin E.V.* The Logic of Chance. The Nature and Origin of Biological Evolution. Upper Saddle River: Pearson Education, FT Press. 2012; *Кунин Е.В.* Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. М.: Центрполиграф, 2014.
16. *Shermer M.* UFOs, UAPs and CRAPs // Scientific American. 2011. № 304(4). P. 90.
17. *Садовский М.А., Писаренко В.Ф.* Случайность и неустойчивость в геофизических процессах // Физика Земли. 1989. № 2. С. 3—12.
18. *Боровков А.А.* Математическая статистика. Новосибирск: Наука; Изд-во Института математики СО РАН, 1997.

ТОЧКА
ЗРЕНИЯ

**АКАДЕМИЧЕСКАЯ НАУКА И ОБОРОНОСПОСОБНОСТЬ –
БЕЗАЛЬТЕРНАТИВНАЯ СВЯЗКА В ИНТЕРЕСАХ ГОСУДАРСТВА**

© 2018 г. Н.А. Махутов^{1*} А.И. Агеев^{2**}, В.А. Золотарёв^{3**}, Ф.О. Трунов^{4***}

¹ Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Москва, Россия

² Институт экономических стратегий РАН, Москва, Россия

³ Российская академия естественных наук, Москва, Россия

⁴ Институт научной информации по общественным наукам РАН, Москва, Россия

*E-mail: mibsts@mail.ru

**E-mail: diana.agaeva2012@mail.ru;

***E-mail: ltrunov@mail.ru

Поступила в редакцию 10.01.2018 г.

В статье рассматриваются тенденции развития современной системы международной безопасности, возрастающая значимость в международных отношениях военного фактора и, как результат, интенсификация и качественный рост прогностических исследований в военно-политической сфере. Актуальность этих вопросов объясняется тем, что сам факт выживания нашего Отечества напрямую связан с состоянием оборонного потенциала и, что не менее важно, с эффективностью его использования для отражения широкого круга угроз. Отсюда вывод о необходимости осуществления разработок в сфере международной безопасности на базе РАН – уникальной площадки по проведению интегральных исследований – и первых шагах на пути реализации этой идеи.

Ключевые слова: безопасность, обороноспособность, военно-стратегическое моделирование, Российская академия наук.

DOI: 10.31857/S086958730000085-1

Нам всем не хватает перспективного видения проблем.

Из кинофильма “Тот самый Мюнхгаузен”

Современная мирополитическая система отличается высокой степенью *подвижности* и, как следствие, *конфликтогенностью*. Говоря о подвижности, мы имеем в виду возможность быстрого (на временном отрезке в несколько лет и даже месяцев)

МАХУТОВ Николай Андреевич – член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ИМАШ РАН, руководитель рабочей группы РАН по проблемам рисков. АГЕЕВ Александр Иванович – доктор экономических наук, генеральный директор Института экономических стратегий РАН. ЗОЛОТАРЁВ Владимир Антонович – доктор исторических наук, доктор юридических наук, вице-президент РАЕН. ТРУНОВ Филипп Олегович – кандидат политических наук, старший научный сотрудник отдела Европы и Америки ИНИОН РАН.

изменения статуса государства как в негативную, так и в позитивную сторону. Ярким примером перехода от стабильного к нестабильному состоянию служат Ирак и Ливия после внешнего военного вмешательства в 2003 г. в первом случае и преимущественно воздушного в 2011 г. – во втором, а также Мали, где в 2012 г. был совершён военный переворот. При этом с указанного времени на землях трёх стран стали распространяться, подобно метастазам в заражённом раком теле, отряды международного (интернационального) терроризма.

Ещё один пример потери статуса – Украина. Подчеркнём, что тенденции изменения этого статуса в негативную сторону стали очевидными за-

долго до событий 2014–2015 гг. Среди республик постсоветского пространства Украина обладала вторым (после России) по мощи военным потенциалом. Официальный Киев перестал проявлять заинтересованность в сохранении своего оборонного потенциала, начиная с первой половины 1990-х годов, и стремился извлечь из его ослабления максимальные экономические и политические дивиденды [1]. Уже к середине 2000-х годов быстрая утрата позиций, особенно военно-политических, привела страну к состоянию ведомой внешними силами [2, р. 25–61]. Роль “ведущих” активно пытались взять на себя страны Евroatлантического сообщества, что, в частности, показали “оранжевая революция” (2004) и внеконституционная смена власти в Киеве 22 февраля 2014 г.

Серьёзное изменение статуса с восходящим трендом демонстрирует Исламская Республика Иран (ИРИ), которая в 2010-е годы превратилась из рядового государства на Ближнем и Среднем Востоке в региональную державу. Усиление позиций ИРИ разительно по сравнению с началом 2000-х и тем более 1980-х годов, когда Иран, внутри которого с 1979 г. начал действовать режим аятолл, вступил в затяжную войну с саддамовским Ираком, опиравшимся на поддержку Запада. В реалиях середины – второй половины 2010-х годов именно Иран вместе с Россией вносит ключевой конструктивный вклад в урегулирование сирийской проблемы. Официальному Тегерану удалось создать зону влияния на шиитском юге постконфликтного Ирака, что было в принципе невозможно представить при режиме С. Хусейна, а также добиться стратегической сделки с шестисторонним (США, Россия, Китай, Великобритания, Франция, Германия) механизмом по ядерной программе Ирана (2015). Качественно возросший вес ИРИ в сфере международной безопасности был достигнут среди прочего благодаря динамично развивавшемуся военному потенциалу страны и её богатым историческим традициям. В огромном культурно-историческом наследии Ирана, который в эпоху персидской династии Ахеменидов (VI – середина IV в. до н.э.) превратился в одну из первых и достаточно зрелых держав Древнего мира, большое место занимают национальные традиции эффективного использования военного потенциала страны.

“Нащупывание” позитивных трендов в сфере безопасности, определение их качественных и количественных параметров, степени и характера влияния на мирополитическую систему в целом и отдельных её участников, в первую очередь Российской Федерации, – результат реализации *прогностической* функции академической науки. Это имеет особое значение в условиях растущих рисков и неопределённостей на международной арене.

Просмотр ежедневных новостей показывает, что до 40% активных граждан России интересуются темами, прямо или косвенно связанными с

международной безопасностью. С нашей точки зрения, это объясняется прежде всего тем, что за последние несколько лет России пришлось вновь столкнуться вблизи своих границ с уже существовавшими в исторической ретроспективе и качественно новыми угрозами безопасности. Так, впервые после окончания Второй мировой войны в непосредственной близости от границ Отечества страны НАТО – блока, не интегрированного с Россией в единую архитектуру безопасности, – создают разветвлённую военную инфраструктуру (штабы, центры связи, базы, аэродромы, полигоны, склады) и развёртывают общевойсковые группировки войск с тяжёлой техникой. Только в 2016–2017 гг. на территории Балтии, Польши, Болгарии и Румынии были размещены на ротационной основе силы, эквивалентные примерно трём “тяжёлым” бригадам¹, и штабные управления для принятия командования ещё семью бригадами. Причём свыше 95% этих сил принадлежат США и “старым” странам-участницам НАТО [3, с. 2]. Предпринятые меры позволяют альянсу в течение нескольких дней нарастить у границ России группировку численностью 40–50 тыс. военнослужащих с полным комплектом боевой техники.

Кроме того, впервые структуры международного терроризма – прежде всего так называемого “Исламского государства” (ИГ), боевики которого к осени 2015 г. достигли серьёзных военных результатов на территории Ирака и особенно Сирии, – оказались способными бросить достаточно значительные силы (в виде отдельных террористов и мелких отрядов) на территорию Российской Федерации. Численность таковых, особенно с учётом выходцев из республик бывшего СССР, могла в случае дальнейших успехов ИГ и поддерживающих его террористических групп составлять не менее 6–10 тыс. человек. Причём если в ходе войн с радикалами на территории Чечни зона их террористической активности в основном ограничивалась Югом России и Москвой, то в случае с ИГ попытки совершать человеконенавистнические действия осуществлялись бы по всей территории России. В этой связи весьма эффективное включение Вооружённых сил России, в первую очередь группировки Воздушно-космических сил, в борьбу с международным терроризмом на территории Сирийской Арабской Республики позволило минимизировать эту опаснейшую угрозу.

Параллельно существенно увеличилось число очагов нестабильности вблизи российских границ, не связанных с деятельностью террористических структур. Масштабная волна воору́жен-

¹ Под данными силами понимаются: 3-я танковая бригада 4-й пехотной дивизии и 1-я танковая бригада 3-й пехотной дивизии армии США, четыре отдельных батальона европейских стран-участниц НАТО и США (по одному в Польше и государствах Балтии). – *Примеч. авт.*

ных конфликтов на только что образовавшемся постсоветском пространстве, возникшая в начале 1990-х годов, сошла на нет уже к середине десятилетия благодаря ведущей миротворческой роли России. Практически все вспыхнувшие вооружённые конфликты (нагорно-карабахский, грузино-югоосетинский, грузино-абхазский, приднестровский) перешли в разряд “замороженных”, то есть в фазу политического урегулирования, а гражданская война в Таджикистане закончилась в 1997 г. принятием Общего соглашения об установлении мира и национального согласия. С конца 2000-х годов в большинстве этих спорных зон наметились негативные тенденции. Одна из ключевых причин — интернационализация конфликтов вследствие активного вовлечения стран Запада в ход их урегулирования. В 2008 г. в условиях агрессивной политики президента Грузии М. Саакашвили произошла “разморозка” грузино-югоосетинского вооружённого конфликта. И если бы не закономерная операция Российской Федерации по принуждению агрессора к миру, мы получили бы конфликт типа грузино-абхазского. В 2014 г. в результате разрастания вооружённого конфликта на востоке Украины, который формально был заморожен 12 февраля 2015 г. после подписания соглашения “Минск-2”, у границ России появился ещё один очаг напряжённости. Периодически обостряется противостояние между Молдавией и Приднестровьем.

Одновременно возросла опасность применения ядерного оружия или возникновения “ядерных облаков” вблизи территории Российской Федерации. Обострение ситуации на Корейском полуострове, обусловленное в том числе провокационным характером военно-тренировочной деятельности США на территории Республики Корея, может привести к эскалации напряжённости с возможностью точечного применения ядерного оружия КНДР или бомбардировок её ядерных объектов. После заключения “ядерной сделки” с ИРИ (2015) угроза нанесения ударов по её ядерным объектам со стороны США, их ближайших партнёров по Евроатлантическому сообществу и, в меньшей степени, Израиля была сведена к минимуму. Однако при новых попытках изоляции Ирана со стороны Евроатлантического альянса, поддерживаемых Саудовской Аравией, нельзя, к сожалению, исключить в перспективе меры военного давления на официальный Тегеран, в том числе путём нанесения бомбардировочных ударов по ядерным объектам ИРИ. Реализация такого негативного сценария приведёт не только к резкому ухудшению экологической обстановки на южных и восточных рубежах России, но и к возможному возникновению вблизи нашей страны серьёзных очагов нестабильности.

Рост конфликтогенности — следствие глубоких и нередко латентных сдвигов мирополитического ландшафта. При этом всё чаще участниками конфликтов становятся не государства, а различные

негосударственные и даже антигосударственные акторы, в частности структуры международного терроризма. Высокая степень неопределённости на мировой арене порождает многочисленные угрозы безопасности, в том числе для России, исторически несущей глобальную ответственность и имеющей самые протяжённые границы. С нашей точки зрения, наиболее полный список угроз и вызовов содержится в Концепции внешней политики Российской Федерации, в частности, в её новейшей версии от 30 ноября 2016 г. [4].

В Концепции отмечается не просто сохранение, а повышение значимости угроз военно-политического характера. К таковым относят рост числа локальных и региональных вооружённых конфликтов, увеличение численности и влияния структур международного (интернационального) терроризма, что сопровождается неконтролируемым перемещением групп и отдельных террористов, потоков “чёрного” оружия. Эффект от этих угроз усиливается, согласно Концепции, вследствие тесного переплетения деятельности и интересов террористов и организованной преступности, в том числе в деле производства, транспортировки и распространения наркотических веществ, незаконно приобретённых культурных ценностей и отдельных видов значимого сырья [4].

При этом подчеркнём, что террористические организации переходят на новую стадию развития: от горизонтальной (характерной для “Аль-Каиды”) структуры к вертикальной, которая впервые была продемонстрирована так называемым “Исламским государством”. Эти попытки создать протогосударственные образования наиболее опасны для государства как института власти. После уничтожения “коричневой чумы” XX в. — нацизма и фашизма — человечество столкнулось с “чумой” XXI в. — международным терроризмом. Причём, как в 1930-е годы в случае с нацизмом, часть международного сообщества, особенно “западные демократии”, даже в условиях роста террористических актов в странах Европейского союза в 2015–2016 гг. не понимает стратегической опасности интернационального терроризма. Неготовность к реальной координации усилий стран и институтов Евроатлантического сообщества на данном направлении с ведущими незападными государствами, в том числе с Россией, объективно способствует восстановлению и перегруппировке террористов после нанесённых им поражений. Так, на фоне разгрома коалицией Ирана, России и Сирии основных сил ИГ на территории Сирийской Арабской Республики оставшаяся (меньшая) часть боевиков при попустительстве и даже поддержке стран Запада стала вливаться в состав “умеренной оппозиции”. Другая (большая) часть просачивается на территорию Афганистана и нестабильных государств Африки — Сомали, Мали, Ливии, усиливая “филиалы” “Аль-Каиды” и ИГ в

данных субрегионах. Борьба с интернациональным терроризмом не под силу двум-трём даже очень мощным государствам. Без скоординированного и параллельного нажима на них эта борьба больше напоминает систему “тришкиного кафтана”.

Как следует из Концепции внешней политики Российской Федерации, в тесной связи с военно-политическими угрозами находятся вызовы социально-экономического характера. К ним, в частности, следует отнести нехватку продовольствия, питьевой воды, отсутствие необходимой медицинской помощи, низкий уровень образования и безработицу. Эти проблемы особенно остры в нестабильных государствах, охваченных вооружёнными конфликтами, в том числе с участием структур международного терроризма, то есть во многом они являются производными от угроз военно-политического характера.

Таким образом, на фоне общего роста международной напряжённости, одна из составляющих которого — укрепление радикальных (ультрарадикальных) сил, стремящихся к уничтожению государства как института, наблюдается тенденция к длительному стратегическому ухудшению отношений между Западом и Российской Федерацией. Военные, информационно-идеологические и другие характеристики этого тренда позволяют сравнивать сегодняшнее состояние с наступлением классической холодной войны.

В этой ситуации особое значение приобретает перспективное видение военно-политических проблем. Необходимо правильно выстраивать и при необходимости корректировать сценарии развития обстановки в сфере международной безопасности и, соответственно, распределять ресурсы, в первую очередь военные, дипломатические, экономические и идеологические, для обеспечения обороноспособности нашей страны. Причём важность этой работы удваивается, если не утраивается, принимая во внимание значение военного фактора в сохранении суверенитета и целостности государства.

Многовековая отечественная история свидетельствует о необходимости глубокого и системного исследования опыта строительства и применения вооружённых сил, стратегического управления и координации деятельности различных ведомств и учреждений, имеющих прямое отношение к обеспечению оборонной мощи государства. Решение этой интегральной, многоуровневой задачи — *в создании институционализированной связки академической науки и профильных структур исполнительной власти*, в первую очередь Министерства обороны РФ. Примеров такого симбиоза академической науки и военной практики множество. Как известно, даже Д.И. Менделеев открыл Периодическую систему химических элементов, выполняя заказы оборонного ведомства.

Однако, к сожалению, в структуре Российской академии наук отсутствует необходимое сегодня направление обеспечения обороноспособности государства. Создание в РАН подразделения, связанного с изучением *проблем безопасности, военно-стратегического моделирования и оборонных задач*, исследованием *широкого комплекса вопросов стратегического и управленческого характера*, стало бы, на наш взгляд, событием большого научного и практического значения.

В пользу этого предложения говорят следующие факты. Наличие мощного и эффективно используемого военно-политического потенциала во все времена выступало обязательным условием существования и развития России. Его критическое ослабление (например, в период первой польской интервенции 1018-1019 гг., расцвета феодальной раздробленности в конце первой трети XIII в., в Смутное время начала XVII в. и революций 1905–1907 и 1917 гг., интервенции и Гражданской войны 1918–1922 гг.) угрожало существованию нашего Отечества. В современных условиях военный компонент сохраняет свою значимость как при решении международных проблем, так и в обеспечении внутренней стабильности. Вооружённые силы выступают как фактор сдерживания и давления, их также используют в военных конфликтах.

Новые информационные технологии позволяют значительно сократить пространственный, временной и информационный разрыв между войсками и органами их управления. Дистанционное бесконтактное воздействие на противника становится главным способом достижения целей боя и операции. Применение высокоточного оружия приобретает массовый характер. В военное дело активно внедряются системы вооружений на новых физических принципах. Исследования в области искусственного интеллекта помогают создавать современные робототехнические комплексы военного назначения.

Вместе с тем сейчас значительно возросла роль невоенных способов в достижении политических и стратегических целей, которые в ряде случаев по эффективности значительно превосходят силу оружия. Использование политических, дипломатических, экономических, идеологических и других мер зачастую позволяет добиться необходимого результата без прямого применения военной силы.

Происходящие изменения находят отражение в доктринальных взглядах ведущих стран мира и активно апробируются в военных конфликтах. Очевидно, что мы не должны копировать чужие наработки, а, учитывая их, *работать на опережение* и выходить на лидирующие позиции. Говоря о различных формах и способах достижения политических целей, подразумевающих использование средств вооружённой борьбы, нельзя забы-

вать уникальный опыт, например, партизанских действий в годы Великой Отечественной войны, столкновения с иррегулярными формированиями в Афганистане и на Северном Кавказе, миротворческих операций и операций по поддержанию мира, борьбы с международным терроризмом.

Изучение прошлого всегда ориентировано на настоящее и будущее. В этой связи огромное значение приобретают научное прогнозирование угроз национальной безопасности страны, моделирование вариантов развития военно-политической ситуации. При наличии общих черт каждая война уникальна и обладает собственной логикой, поэтому характер войны, в которую может оказаться втянутой Россия или наши союзники, предвидеть сложно. Но трудность задачи не отменяет необходимость её решения. И здесь важная роль отводится военной науке, специалистам, работающим на стыке общественных наук и военного дела, — историкам, военным теоретикам, философам, экономистам, социологам, политологам, математикам, которые синтезируют достижения в разных областях знаний и формируют модель развития военно-политической и стратегической ситуации в мире.

В 2003–2009 гг. военно-историческая наука оказалась в тяжёлом положении: квалифицированные кадры уходили, новых не готовили, растаскивался научный потенциал, военно-историческая мысль мельчала, — иными словами, происходило истощение этой отрасли знаний. Ситуация стала решительно меняться, когда 5 мая 2008 г. Президент России подписал распоряжение “Об издании фундаментального многотомного труда “Великая Отечественная война 1941–1945 гг.”. В 2011 г. вышел 1-й из 12 томов этого издания. Последний увидел свет в канун 70-летия Великой Отечественной войны — в начале мая 2015 г. В ходе работы над многотомником с документальным приложением

сложился авторский коллектив, объединивший как маститых учёных (действительные члены РАН), московскую и петербургскую профессуру, так и новое поколение историков. Все они представляют исследовательские институты РАН, вузы Министерства обороны РФ и другие научно-исследовательские центры страны. Вслед за этим вышел 6-томный фундаментальный труд “Первая мировая война 1914–1918 гг.”. Параллельно был сделан огромный задел по исследованию истории развития отечественного оборонно-промышленного комплекса. В ходе этого цикла работ сформировалось ядро научного коллектива, способного качественно решать широкий комплекс научно-исследовательских задач, в том числе по *проблемам безопасности государства и военно-стратегического моделирования*, — по тому научному направлению, которое мы предлагаем институционализировать на базе РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дубинин Ю.В.* Дипломатический марафон: записки участника российско-украинских переговоров в 1992–1999 гг. М.: АвиаРус-XXI, 2005.
2. *Menon R., Rumer Eu.* Conflict in Ukraine. The Unwinding of the Post-Cold War Order // A Boston Review Book. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, 2015.
3. Der NATO-Gipfel von Warschau Sieben zu erwartende Botschaften // Arbeitspapier. Berlin: Bundesakademie für Sicherheitspolitik, 2016.
4. Концепция внешней политики Российской Федерации (утверждена Президентом Российской Федерации В.В. Путиным 30 ноября 2016 г.) // http://www.mid.ru/foreign_policy/news/-/asset_publisher/cKNonkJE02Bw/content/id/2542248 (дата обращения 1.01.2018).

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ
ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

БИБЛИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ
В ОБЛАСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОСТРУКТУР

© 2018 г. А.И. Терехов

Центральный экономико-математический институт РАН, Москва, Россия

E-mail: a.i.terekhov@mail.ru

Поступила в редакцию 21.11.2017 г.

Выполнен библиометрический анализ публикаций ряда стран в области полупроводниковых наноструктур в период 2000–2016 гг. Особенно подробно рассмотрен вклад российских участников исследований, а также структура международных научных связей отечественных учёных. Исходный массив публикаций извлечён из базы данных Science Citation Index Expanded с использованием релевантных ключевых слов. Информация для анализа патентной активности получена из баз данных Роспатента, US PTO и WIPO PATENTSCOPE.

Ключевые слова: полупроводниковые наноструктуры, библиометрический анализ, научные публикации, цитируемость, центр научного совершенства, патентная активность.

DOI: 10.31857/S086958730000086-2

Россия не смогла войти в высшую мировую лигу в области нанотехнологий (НТ), о чём свидетельствуют библиометрические оценки [1]. Несмотря на это, существуют направления, где в силу ещё советских традиций и научных школ наша страна занимает вполне достойное место. Примером могут служить углеродные наноструктуры [2], также весом вклад отечественных учёных в развитие такого направления НТ, как полупроводниковые наноструктуры, наиболее значимые из которых — квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки — имеют широкий спектр практических применений, в частности, они являются фундаментальными строительными блоками в нанoeлектронике. Так, А.И. Екимов — учёный из Государственного оптического

института им. С.И. Вавилова — в 1981 г. стал первооткрывателем нанокристаллических полупроводниковых квантовых точек [3], а вклад школы академика Ж.И. Алфёрова в создание полупроводниковых лазеров на квантовых ямах и точках широко известен во всём мире [4].

Для оценки масштабов развития научной области часто используют журнальные публикации. Источником информации в настоящей статье выбрана наиболее авторитетная в мире политематическая база данных Science Citation Index Expanded (БД SCIE), охватывающая более 42,7 млн научных публикаций в рецензируемых журналах. С помощью библиометрических индикаторов мы попытаемся измерить и сравнить объём и роль публикаций ряда выбранных стран в области полупроводниковых наноструктур начиная с 2000 г., когда вслед за США развитие НТ стало приоритетной областью в международном масштабе.

Данные и методы. Исходная выборка насчитывает 52 196 публикаций (статей, обзоров, писем) за 2000–2016 гг. и извлечена из БД SCIE (на платформе Web of Knowledge) путём поиска по релевантным ключевым словам в названиях работ (лексический запрос)¹. Её данные использованы для макроанализа на уровне стран и их блоков. Кроме России, рассматриваются пять западных стран (США, Германия, Япония, Фран-



ТЕРЕХОВ Александр Иванович — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ЦЭМИ РАН.

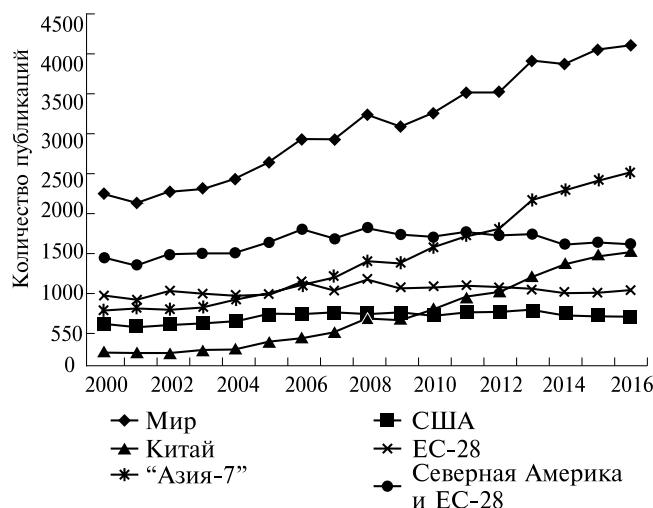


Рис. 1. Динамика количества публикаций в области полупроводниковых наноструктур в мире и по странам/группам стран

ция, Великобритания), два восходящих азиатских гиганта (Китай, Индия), три «азиатских тигра» (Южная Корея, Сингапур, Тайвань) и быстро прогрессирующий в последние годы Иран. В отдельных сопоставлениях представлены также ЕС-28, условный блок стран «Азия-7» (Индия, Иран, Китай, Сингапур, Тайвань, Южная Корея, Япония), страны Северной Америки (США, Канада, Мексика). С учётом продолжительности участия в исследованиях полупроводниковых наноструктур пять западных стран и Россия (группа G_1) условно отнесены к «старожилам», а остальные шесть стран (группа G_2) — к «новичкам»; 3333 публикации с российским адресом обеспечили данные для более детального анализа вклада отечественных институтов и учёных, международного сотрудничества нашей страны.

Сервисы платформы Web of Knowledge позволяют получать традиционные индикаторы (число публикаций и цитат, среднее количество цитат на одну публикацию и т.д.) для различных подмножеств исходной выборки. Мы использовали их, а также другие расчётные индикаторы: среднегодовой темп роста (Compound Annual Growth Rate — CAGR), конкурентная доля страны в мировом выходе публикаций, относительный показатель цитирования и др. Рассмотрены топ-1% и топ-10% сегменты

¹Поисковый лексический запрос: TI=((“quantum* dot*” or “semiconductor nanocrystal*” or “quantum* well*” or “quantum* wire*” or (“QD structure*” or “QD nanostructure*” or “QD formation*” or “semiconductor QD*” or “QD semiconductor*” or “QD layer*” or “QD luminescence*” or “QD laser*” or “QW structure*” or “QW laser*” or “semiconductor nanoheterostructure*” or “semiconductor heteronanostructure*” or (“CdSe nanocrystal*” or “GaAs nanocrystal*” or “InGaAs QD*” or “InAs/GaAs QD*” or “InAs QD*” or “InGaAs QW*” or “GaAs QD*” or “GaAs QW*”))).

наиболее цитируемых публикаций в НТ-области, вклад стран в элитную часть мировой научной литературы. При изучении участия России в указанных сегментах внимание уделялось выявлению высококачественных исследований, проводящим их институтам, а также проверке библиометрических критериев на принадлежность к центрам научного совершенства (ЦНС). Данные для анализа патентной активности получены из БД Роспатента, а также US PTO и WIPO PATENTSCOPE.

Изменение международного исследовательского ландшафта. Согласно расчётам, в последние семь лет полупроводниковое направление НТ росло со среднегодовым темпом 4,2%, что гораздо ниже темпов роста НТ в целом (~12%). В силу разных темпов роста отдельных стран и их блоков в структуре мирового лидерства произошли заметные изменения (рис. 1). По количеству публикаций Китай в 2010 г. прервал доминирование США, в 2013 г. обошёл ЕС-28, а в 2016 г. вплотную приблизился к Северной Америке и ЕС-28 вместе взятым. В целом же мировой тренд в полупроводниковом направлении НТ с 2009 г. стал определять блок азиатских стран («Азия-7»), на долю которого в 2016 г. приходилось около 60% всех мировых публикаций. Более детальную картину даёт таблица 1, согласно которой в рассматриваемый период все страны-«старожилы» росли с темпом ниже, а «новички» выше среднемирового. Наблюдается подъём Ирана за относительно короткий срок, а также снижение темпов Японии, публикационная активность которой в 2008–2016 гг. падала в среднем на 6,6% в год.

В России в 2000–2008 гг. сократилось число публикаций в области (CAGR ≈ -3,9%), и, хотя с принятием Стратегии развития nanoиндустрии оно стало возрастать (CAGR ≈ 4,9% в 2008–2016 гг.), интегрально это привело к потере двух позиций в мировом рейтинге. Тем не менее шестое место России по продуктивности в полупроводниковом направлении — на три позиции выше, чем в углеродном [2]. Разный характер динамики публикационной активности привёл к существенному перераспределению конкурентной доли стран и изменению их положения в рейтинге по публикациям, причём все «старожилы» понесли потери, а «новички» выиграли (см. табл. 1). На обозримый период Китай — неоспоримый лидер, поскольку ближайший преследователь (США) отстаёт от него по вкладу в мировую публикационную активность на 21 процентный пункт (п.п.).

Анализ цитируемости. Следует иметь в виду, что подготовка более качественных публикаций может быть важнее, чем просто большое их число. В качестве импакта национальных публикаций рассмотрим относительный коэффициент их цитируемости. На рисунке 2 представлены наиболее интересные изменения этого коэффи-

Таблица 1. Относительные показатели и ранжирование стран из G_1 и G_2 по количеству публикаций

Страна	Относительные показатели		
	показатель относительного роста ^а	конкурентная доля в мировом выходе публикаций	рейтинг страны по количеству публикаций
Иран	9,62 ^б	0,5 ↑ 4,7	35 ↑ 9
Индия	4,21	1,2 ↑ 7,2	22 ↑ 3
Китай	3,54	8,4 ↑ 35,7	5 ↑ 1
Южная Корея	2,31	3,2 ↑ 6,7	9 ↑ 5
Сингапур	1,69	0,9 ↑ 1,4	26 ↑ 20
Тайвань	1,10	2,4 ↑ 2,5	12 ↔ 12
Франция	0,49	5,7 ↓ 4,2	7 ↓ 10
Великобритания	0,28	8,1 ↓ 5,2	6 ↓ 7
Россия	0,26	10,0 ↓ 6,3	4 ↓ 6
США	0,18	24,7 ↓ 14,9	1 ↓ 2
Германия	-0,44	16,7 ↓ 6,9	3 ↓ 4
Япония	-1,05	17,5 ↓ 4,9	2 ↓ 7

Примечание. а – рассчитан как отношение CAGR конкретной страны в течение 2000–2016 гг. к CAGR всего мира в течение того же периода; б – из-за нулевой базы в 2000 г. показатель для Ирана был рассчитан за период 2008–2016 гг.; стрелка показывает рост или уменьшение соответствующего показателя между 2000 и 2016 г.

циента для ряда стран. Как видно, США, хотя и превышают среднемировой уровень, неуклонно теряют свои преимущества перед другими странами. Китай, напротив, постепенно наращивая успех, в 2011 г. превысил среднемировую планку, а в 2015 г. обошёл США. Выдающийся рост импакта начиная с 2011 г. продемонстрировал Сингапур, который выдавал небольшое количество публикаций в полупроводниковом направлении НТ. Интересно сравнение и в нижней части рисунка 2. Так, до 2007 г. Россия превосходила Индию по импакту национальных публикаций, но, начав с 2008 г. наращивать их количество, потеряла в импакте и теперь по этому показателю уступает не только Индии, но и поздно стартовавшему Ирану².

Ещё одним критерием конкурентоспособности страны в научной области выступает её вклад в элитную литературу, например, топ-1% или топ-10% сегменты самых высокоцитируемых публикаций. В нашем случае наибольший вклад за

весь период у США, за которыми следует Китай. По вкладу в топ-10% Россия превосходит Сингапур, Индию и Иран, а по вкладу в высший топ-1% сегмент – Индию, Тайвань и Иран (табл. 2). Это лучше её показателей в целом по НТ [1].

Рисунки 3 и 4 демонстрируют изменение вклада отдельных стран в динамике. В последние годы страны “новички” стали обгонять “старожилов” по этому показателю, например, Китай – США, Южная Корея – Германию (в 2013 г.). По вкладу в мировой топ-10% сегмент высокоцитируемых публикаций Россия в начале 2000-х годов обходила все страны из группы G_2 , включая Южную Корею (до 2007 г.) и Китай (до 2004 г.), однако затем уступила им, несколько поправив положение лишь в 2015 г.

²Мы не приводим здесь соответствующий рисунок для оставшихся шести стран. Отметим лишь, что к концу периода практически все из них находились ниже среднемирового уровня, однако выше уровня России.

Таблица 2. Вклад стран G_1 и G_2 в высокоцитируемые публикации, 2000–2015 гг.

Страна	Доля публикаций		Страна	Доля публикаций	
	топ-10% сегмент	топ-1% сегмент		топ-10% сегмент	топ-1% сегмент
США	39,5	52,1	Китай	21,6	22,5
Германия	11,7	5,6	Южная Корея	4,7	5,2
Япония	7,0	5,4	Сингапур	2,0	3,7
Великобритания	6,3	3,9	Индия	1,7	1,4
Франция	4,4	3,1	Тайвань	2,2	1,0
Россия	2,1	1,9	Иран	0,7	0,4

Основные российские участники исследований. В международном рейтинге по количеству опубликованных работ в области полупроводниковых наноструктур в 2000–2016 гг. Российская академия наук уступает только Китайской академии наук. Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (ФТИ РАН) (1206 публикаций) превосходит Министерство энергетики США с его национальными лабораториями (1122), а Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (ИФП СО РАН) (419 публикаций) – знаменитый Массачусетский технологический институт (315). Список 10 наиболее продуктивных российских организаций за весь период возглавляют ФТИ РАН и ИФП СО РАН, причём у ФТИ РАН больше публикаций, чем у восьми университетов из первой десятки вместе взятых. Наиболее продуктивные российские институты на конец рассматриваемого периода указаны в таблице 3.

Помимо перечисленных, есть ещё ряд институтов, внёсших заметный вклад в топ-10/топ-1% сегменты научной литературы: Институт физики твёрдого тела РАН (ИФТТ РАН) (8/3), Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН (7/0), Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (ИПТМ РАН) (3/1), а также СПбГУ (3/1) и Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского (5/0). Добавим, что пять российских университетов (ИТМО, СПбПУ, НГУ, СПб АУ РАН и МГУ) входят в первую сотню мировых университетов по продуктивности в рассматриваемой области.

Генерация высокоцитируемых российских публикаций в 2000–2004 гг. связана в большой степени с двумя академическими институтами из Черноголовки: ИФТТ РАН и ИПТМ РАН. Была предпринята проверка библиометрических критериев [6] с целью признания этого тандема возможным центром научного совершенства (ЦНС) в указанный период, которая показала следующее:

- при пятилетнем окне цитирования средняя цитируемость 74 опубликованных обоими институтами в этот период работ превысила среднемировой уровень более чем на 70%; из них 13 и 5 публикаций вошли в мировой топ-10 и топ-1% сегменты научной литературы по теме соответственно;
- фактические пропорции подготовленных в институтах высокоцитируемых публикаций в их общем выходе (17,6% для топ-10% и 4,1% для топ-1% сегмента) более чем на 50% превысили их ожидаемые значения (10% и 1% соответственно).

Эти результаты удовлетворяют библиометрическим критериям для признания исследовательской единицы ЦНС [6]. Таким образом, в статистических терминах рассмотренный тандем

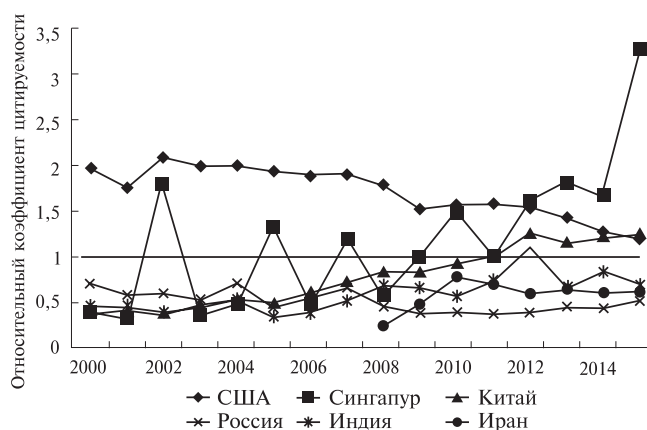


Рис. 2. Изменение национального импакта публикаций в области полупроводниковых наноструктур относительно среднемирового уровня

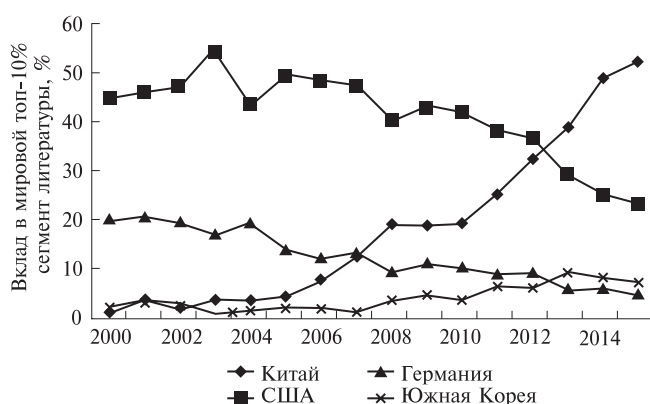


Рис. 3. Сравнение стран по их вкладу в мировой топ-10% сегмент литературы в динамике (США и др.)

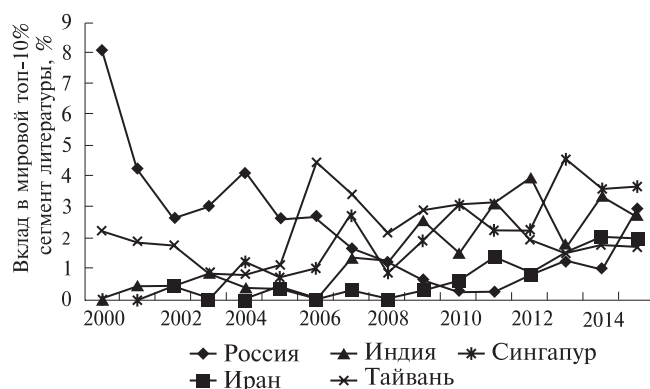


Рис. 4. Сравнение стран по их вкладу в мировой топ-10% сегмент литературы в динамике (Россия и др.)

Таблица 3. Топ-10 наиболее продуктивных в области полупроводниковых наноструктур российских институтов, 2013–2015 гг.

Ранг	Институт	Число публикаций	Средняя цитируемость	Число публикаций в топ-10%/1% сегментах (2000–2015)
1	Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (ФТИ РАН)	194	4,9	43/3
2	Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН (ИФП СО РАН)	87	4,3	5/0
3	ИТМО-Университет (ИТМО)	70	6,3	4/0
4	Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)	51	2,7	0/0
5	Новосибирский государственный университет (НГУ)	49	4,2	0/0
6	Санкт-Петербургский академический университет РАН (СПб АУ РАН)	46	3,1	2/0
7	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ)	44	3,0	4/1
8	Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИ РАН)	42	2,4	8/2
9	Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ)	42	2,1	0/0
10	Национальный исследовательский ядерный университет (МИФИ)	35	9,6	4/0
	Российская академия наук	460	4,5	84/8
	Вузы	426	5,1	21/2
	Всего	667	5,1	102/9

академических институтов из Черноголовки мог бы быть признан ЦНС мирового класса в области полупроводниковых наноструктур в период 2000–2004 гг. Конечно, приведённые расчёты должны сопровождаться экспертной оценкой.

Как показывает анализ, академическая школа позволяет РАН по-прежнему оставаться внутри-российским лидером исследований в рассматриваемой области, а также занимать достойную позицию в мире.

Международное сотрудничество (соавторство) российских исследователей. Важной особенностью развития исследований по полупроводниковым наноструктурам в России стала значительная степень их интернационализации: 51% всех публикаций имеет международное соавторство, что на 10 п.п. превосходит аналогичный показатель для НТ в целом. Согласно рисунку 5, тренд международного сотрудничества определяют научные связи с четырьмя ведущими западными странами — Германией, США, Великобританией и Францией. Однако рисунок демонстрирует перестройку структуры научного сотрудничества России в рассматриваемой области, хотя и медленную. На фоне общего снижения интенсивности международных связей с 2006 г. доля

сотрудничества с четвёркой ведущих западных стран уменьшилась на 9,6 п.п. за последние восемь лет по сравнению с предыдущим периодом, тогда как доля сотрудничества с бывшими советскими республиками и партнёрами России по БРИКС, напротив, выросла на 7,3 и 4,5 п.п. соответственно. Тем не менее более тесные научные связи России с западными странами имеют исторические корни и в основном опираются на российскую научную диаспору. В условиях динамично меняющегося мирового исследовательского ландшафта трансформация этих связей неизбежна, однако их быстрая переориентация с западного направления на азиатское вряд ли возможна.

Патентная активность в области полупроводниковых наноструктур. Патенты являются следующим за научными публикациями шагом в инновационной цепочке, поэтому приведём краткий анализ патентной литературы, представленной в БД US PTO, WIPO и Роспатента. На рисунке 6 показана значительно более низкая патентная активность в области полупроводниковых наноструктур по сравнению с углеродными. Тем не менее в расчёте на 100 публикаций в той и другой области за 2000–2016 гг. приходится около 4,4 патента

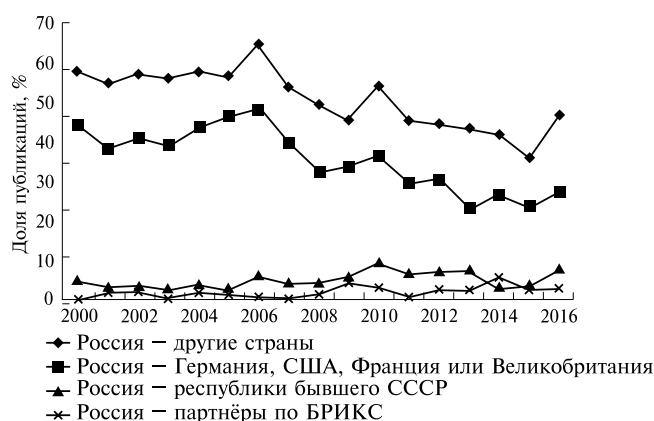


Рис. 5. Доля российских публикаций в рассматриваемой области, имеющих международное соавторство

US PTO и столько же заявок PCT WIPO, то есть интенсивность превращения производимого научного знания в патентуемые результаты в обеих областях примерно одинакова. Российские изобретатели участвовали всего в 0,7% патентов US PTO по полупроводниковым наноструктурам и в 1% заявок PCT WIPO. Для сравнения: вклад китайских изобретателей за тот же период составил 2,7% и 8,8% соответственно.

За 2000–2016 гг. Роспатент выдал 104 патента на изобретения, связанные с полупроводниковыми наноструктурами. Самой многочисленной категорией патентовладельцев стали университеты (~31% всех патентов), далее следуют иностранные компании (20%) и РАН (19%). Отечественный бизнес (ОАО, ЗАО, ООО) занимает 4 место (18%). Российские организации-лидеры по количеству полученных патентов РФ: ФТИ РАН (7 патентов), ИТМО-Университет (6), ООО “Некст-Т” (4). Около 45% всех патентов корпоративного сектора выданы зарубежным компаниям, среди которых: Intence Ltd (Великобритания), Dow AgroSciences LLC (США), Samsung LED Co. Ltd (Южная Корея), NTU Ventures Pte. Ltd (Сингапур) и др. Поскольку отечественный бизнес за редким исключением³ пока слабо стремится к патентованию за рубежом, совладельцами патентов на изобретения с участием россиян нередко становятся иностранные компании, как это было во всех 17 патентах US PTO и в 8 из 21 заявках PCT WIPO. Это создаёт определённые риски утечки патентоспособных идей. Относительно низкая патентная активность вкуче с большой долей патентов РФ, прекративших своё действие (36%), говорят о низком коммерческом потенциале соответствующих приложений внутри страны.

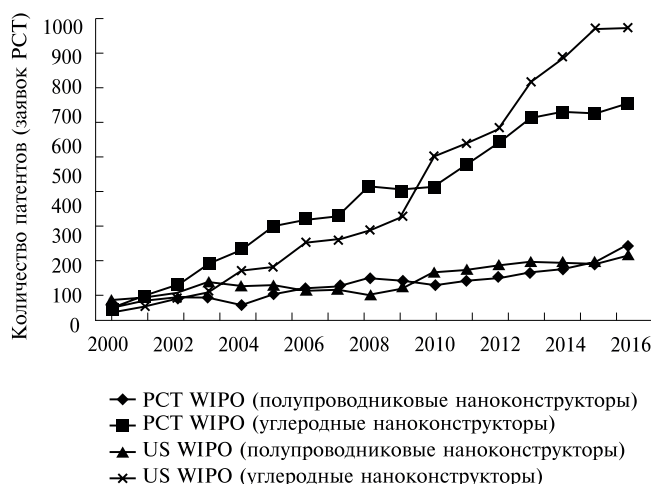


Рис. 6. Динамика выданных патентов US PTO и заявок PCT WIPO на полупроводниковые и углеродные наноструктуры

* * *

Полупроводниковое и углеродное направления нанотехнологий исторически развивались в нашей стране, опираясь на созданные академические школы. Им удалось пережить трудные 1990-е годы и сохранить потенциал к моменту превращения нанотехнологий с 2000 г. в приоритетное направление на государственном уровне. В результате в развернувшемся научном соревновании России удалось сохранить своё место в топ-10 наиболее продуктивных стран. Показательно, что в умеренно растущем полупроводниковом направлении позиции нашей страны оказались выше (6 место), чем в продолжающем бурный рост углеродном (9 место). Кроме того, вклад в топ-10% и топ-1% сегменты научной литературы по полупроводниковым наноструктурам выше, чем по НТ в целом [1]. Не последнюю роль в этом сыграла большая степень интернационализации исследований, значительно повышающая заметность российских работ.

Таким образом, сильная академическая школа, высокая степень международной кооперации, а также сравнительно невысокий темп роста (не требующий возрастающего привлечения всё новых ресурсов, как в случае углеродного нанобума) способствовали относительному успеху страны в развитии полупроводникового направления. Тем не менее некоторые аспекты проводимой научной политики могут приводить к негативным последствиям. Как отмечено в работе [5], пода-

³Например, ООО “Оптоган. Органические Световые Решения” (Санкт-Петербург) является заявителем в 4 заявках PCT WIPO.

ЛИТЕРАТУРА

вляющее большинство основных международных связей в области НТ проходит через Российскую академию наук, причём значительная их часть представляет собой результат многолетних взаимодействий. Именно с 2006 г., когда началась университетоцентристская политика Правительства РФ, международные связи российских учёных стали интенсивно ослабевать, при этом с четвёркой западных стран — более чем на 20 п.п. (см. рис. 5). Такому сворачиванию связей способствует и запущенная в 2013 г. реформа РАН. Если в 2000–2006 гг. вклад России в мировой топ-10% сегмент высокоцитируемых публикаций составлял 3,9%, то в 2007–2015 гг. он снизился до 1,2%, что говорит само за себя.

Проведённый патентный анализ показал пока ещё слабую трансформацию производимого научного знания в патентуемые результаты, выявил недостаточное стремление отечественного корпоративного сектора к патентованию изобретений, в том числе за рубежом, что не способствует формированию благоприятной инновационной экосистемы для внедрения полупроводниковых наноструктур.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-06-00009).

1. *Terekhov A.I.* Bibliometric spectroscopy of Russia's nanotechnology: 2000–2014 // *Scientometrics*. 2017. V. 110. № 3. P. 1217–1242.
2. *Терехов А.И.* Библиометрический анализ углеродного направления нанотехнологий: 2000–2015 // *Экономика науки*. 2017. № 4. С. 262–274.
3. *Екимов А.И., Онущенко А.А.* Квантовый размерный эффект в трёхмерных микрокристаллах полупроводников // *Письма в ЖЭТФ*. 1981. № 6. С. 363–366.
4. *Алфёров Ж.И.* История и будущее полупроводниковых гетероструктур // *Физика и техника полупроводников*. 1998. № 1. С. 3–18.
5. *Karaulova M., Gok A., Shackleton O., Shapira P.* Science system path-dependencies and their influences: Nanotechnology research in Russia // *Scientometrics*. 2016. V. 107. № 2. P. 645–670.
6. *Tijssen R.J.W., Visser M.S., Van Leeuwen T.N.* Benchmarking international scientific excellence: are highly cited research papers an appropriate frame of reference? // *Scientometrics*. 2002. V. 54. № 3. P. 381–397.

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ
ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

**АДАПТИВНЫЕ СТРАТЕГИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЗБУДИТЕЛЯ
И ХОЗЯИНА ПРИ ИНФЕКЦИИ**

© 2018 г. О.В. Бухарин

Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Оренбург, Россия

E-mail: onckadri@mail.ru

Поступила в редакцию 22.01.2018 г.

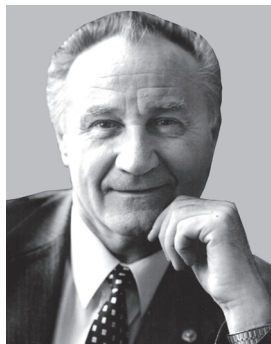
Взаимоотношения микробов и организма человека оказались не столь просты, как предполагалось. Свидетельством тому служит длительный спор между И.И. Мечниковым и Р. Кохом о физиологических механизмах защиты организма — клеточное звено или гуморальные факторы? Хотя эта дискуссия ушла в прошлое, и Нобелевская премия была разделена в начале XX в. между этими учёными за создание клеточно-гуморальной теории иммунитета, наука раскрывает всё новые загадки Природы, которые можно назвать адаптивными стратегиями взаимодействия “хозяин–паразит”. Речь пойдёт о движущих силах инфекционного процесса, к которым относятся: возбудитель болезни (микроб), организм хозяина (человек, животное), то есть та платформа, на которой прогрессирует болезнь; внешняя среда (экологический фактор), меняющая расстановку участников этого взаимодействия, а следовательно, и исход инфекции. В статье приводятся примеры и обсуждаются адаптивные стратегии смыслового значения для конкретных участников упомянутого процесса. Отражено значение персистентного потенциала микробов (как “своих”, так и “чужих”) во взаимоотношениях с организмом хозяина. Показаны прикладные аспекты популяционно-коммуникативного направления в микробиологии и медицине. Представлены новые данные по физиологии ключевого микробного регулятора гомеостаза кишечного биотопа человека — бифидофлоры — основного “дирижёра” нашего здоровья, ключевой фигуры разрабатываемых здоровьесберегающих технологий.

Ключевые слова: адаптивные стратегии выживания, экологический детерминизм, персистенция, кворум-сенсинг, функции бифидобактерий.

DOI: 10.31857/S086958730000087-3

Если рассматривать человека как своеобразную эконису для микробов, то становится понятно, что сложившиеся взаимоотношения этих двух обитателей нашей планеты будут непредсказуемо разнообразны. Не вызывает сомнения тот факт, что при изучении взаимодействия микробов и человека всегда будет общий стержень. биоло-

гически целесообразный смысл, который может помочь нам в понимании адаптивных стратегий двух постоянных “дуэлянтов”, где союз неотделим от вражды. Наша задача — уловить это разнообразие, понять его биологический смысл и по возможности использовать в прикладных целях в медико-биологической науке.



БУХАРИН Олег Валерьевич — академик РАН, главный научный сотрудник ИКВС УрО РАН.

Не всегда микробы становятся причиной возникновения болезни. В ряде случаев смена ими хозяина происходит по вине самого хозяина, меняющего экологические условия проживания возбудителя. Примером могут служить легионеллы, вызывающие у человека тяжёлые пневмонии (“болезнь легионеров”). В обычных условиях легионеллы являются симбионтами амёб и инфузорий, но использование человеком таких устройств, как кондиционеры, душевые установки и др., где во влажной среде происходит накопление этих микроорганизмов (к тому же не воз-

будителей, а комменсалов¹ человека) и попадание их в лёгкие иммунодефицитного контингента пожилого возраста, может спровоцировать тяжелейшие пневмонии с летальным исходом. Способность легионелл выживать в фагоцитах человека связана с механизмами их выживания внутри клеток простейших, то есть имеет экологическую природу. В настоящее время расширяется спектр подобных микроорганизмов, существующих в роли комменсалов в природе, но патогенных для человека со сниженной иммунологической защитой. К ним относятся риккетсии, листерии и даже буркхолдерии — известный фитопатоген, приводящий к гнилоственному поражению лука. Но буркхолдерии, являясь оппортунистическими агентами (оппортунистическая инфекция — заражение организмами, в нормальных условиях безобидными для человека), способны вызывать госпитальные инфекции (раневые, катетерассоциированные пневмонии) у ослабленных пациентов (некротизирующая пневмония с септициемией). Эта группа болезней отнесена к сапронозам, когда проникновение возбудителя в организм человека происходит случайно, в отличие от облигатных (обязательных) микробов.

В регуляции паразитарной системы значение имеют три наиболее важные характеристики, определяющие взаимодействие возбудителя и хозяина — *численность*, *гетерогенность* (разнообразие) и *изменчивость*. Применительно к популяциям патогенных микроорганизмов (как членам паразитарной системы) описано несколько уровней регуляции: внутривидовая; регуляция организмом хозяина; регуляция популяцией хозяина; экосистемная; геокосмическая; антропогенная. Первые три уровня составляют регуляторные процессы, действующие внутри паразитарной системы, тогда как остальные отражают регуляцию факторами среды, внешними по отношению к рассматриваемой системе [1].

Следует добавить, что *паразитарные системы* — это саморегулирующиеся экологические системы, в которых отношения между партнёрами находятся в состоянии подвижного равновесия. Процесс саморегуляции в них определяется гено- и фенотипической гетерогенностью популяций паразита и хозяина. Биолого-экологическая оценка паразитизма позволяет признать, что факторы патогенности направлены прежде всего не на поражение хозяина, а на сопряжённую эволюцию, взаимную адаптацию, персистенцию патогена [2]. Так, резистентность пневмококка к фагоцитозу за счёт капсулообразования и других факторов сформировалась как результат се-

лекции не для того, чтобы вызвать смертельный сепсис, а чтобы патоген мог надолго обосноваться в слизистой оболочке респираторного тракта хозяина. По мнению А.А. Сохина [3], бескомпромиссность трансплантационного иммунитета объясняется отсутствием коадаптации в системе “трансплантат—хозяин”, длительного пути совместной эволюции, который прошли многие паразитарные системы. Их большой исторический возраст способствовал выработке “эволюционной мудрости”, которая заключается в сохранении популяции хозяина ради сохранения популяции микроба. С одной стороны, под действием возбудителя в организме хозяина развиваются иммунитет и иммунологическая толерантность, с другой — факторы иммунитета индуцируют изменчивость возбудителя в целях его уклонения от защитных механизмов хозяина. Таким образом проявляется саморегуляция, подтверждающая общее правило: эволюция не даёт существенных селективных преимуществ ни одному из взаимодействующих видов, она направлена на достижение динамического противоречивого равновесия [3, 4].

Принцип саморегуляции с использованием обратных связей оказался универсальным для всех паразитарных систем, а относительное равнодействие противоположностей обуславливает существование систем (принцип системности), активность которых связана с их асимметричностью и выступает как выражение неравновесной стороны равновесного целого [5, 6]. Отмечено, что при саморегуляции систем реализуются четыре основных условия: гено- и фенотипическая гетерогенность популяций паразита и хозяина; динамическая изменчивость взаимодействующих популяций; фазность развития системы; регулирующая роль внешней среды. Варьирующими признаками возбудителя, как правило, являются вирулентность и антигенность, а у хозяина — иммунокомпетентность.

Микробная клетка — это не только поражающий и несущий угрозу человечеству фактор. Микроорганизмы, осваивая новые для себя территории, в процессе многовековой эволюции заселили практически все основные биотопы человека. Нередко организм человека справедливо называют “передвижным буфетом”, где микробы имеют и стол, и кров. Наличие тех или иных субстратов в различных биотопах организма способствовало их колонизации определёнными видами микроорганизмов с учётом их трофических пристрастий. Так сформировалась нормальная микрофлора организма человека. Однако бесплатного обеда не бывает, и микробная нормальная флора “платит” за свой пансион, выполняя ряд полезных для хозяина функций. Эта доминантная микрофлора прекрасно адаптирована к конкретному биотопу человека, её видовой состав определяют экологические условия. Синергидные функции доминантного микросимбионта, полезные для хозяина, на примере кишечной микрофлоры

¹Комменсал — один из совместно живущих (постоянно или временно) организмов разных видов, извлекающий из этого известную пользу и не причиняющий другому организму вреда.

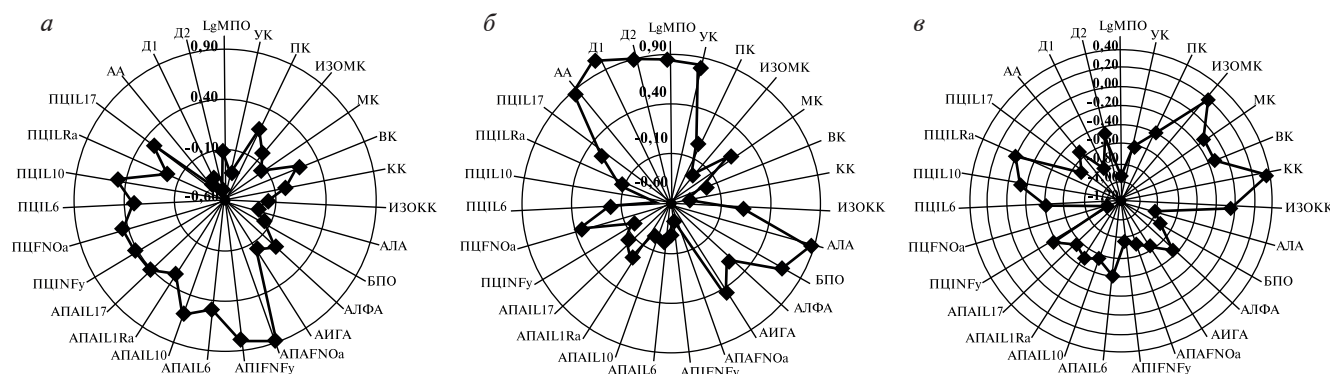


Рис. 1. Биологическая характеристика бифидобактерий по кластерам

а – группа 1; *б* – группа 2; *в* – группа 3; Lg ПМО – показатель микробной обсеменённости в Lg; АЛА – антилизосимная активность; БПО – биоплёнокообразование; Д1 – значения дискриминантных функций распознавания “своих” ассоциантов; Д2 – значения дискриминантных функций распознавания “чужих” ассоциантов; АА – антагонистическая активность; УК – уровень уксусной кислоты, ПК – пропионовой, МК – масляной, ИМК – изомасляной, ВК – валерьяновой, КК – капроновой, ИКК – изокапроновой; АИГА – антииммуноглобулиновая, АЛФА – антилактоферриновая, АПА – антипептидная активность в отношении FNO-α, INF-γ, IL-6, IL-10, IL-17, IL-17Ra; ПЦ – способность влиять на продукцию FNO-α, INF-γ, IL-6, IL-10, IL-17, IL-17Ra мононуклеарами периферической крови здоровых людей (доноров)

включают: антагонизм в отношении бактериальных патогенов, синтез витаминов группы В, иммуномодулирующий эффект, детоксицирующее действие анаэробов. Наконец, в последнее время удалось определить лидирующую роль бифидобактерий не только в межмикробном распознавании чужеродных микроорганизмов, но и в передаче сигнала об угрозе системе иммунитета хозяина через дендритную клетку [7].

Несмотря на эти данные, открытым оставался вопрос о физиологической роли бифидофлоры на различных этапах инициального сигналинга при формировании гомеостаза кишечного биотопа. В связи с этим на выборке из 122 пациентов с различными микробиологическими состояниями (от эубиоза до дисбиозов 2–3 степени, то есть нормальное состояние естественной микрофлоры организма и отклонения от него соответственно) была изучена микробиота кишечного биотопа с акцентом на биологические характеристики бифидофлоры, включающие три группы признаков: межмикробное распознавание “свой–чужой”, цитокиновый профиль и метаболические свойства бифидобактерий, продуцирующих короткоцепочечные жирные кислоты. Эти признаки были выбраны неслучайно, так как межмикробная “дискриминация” чужеродного материала бифидофлорой определяет защитный ресурс организма, а продукция цитокинов противовоспалительного и провоспалительного характера способствует уточнению состояния кишечного биотопа хозяина. Метаболический профиль позволяет составить представление о надёжности барьерной функции (защиты) клеток кишечного эпителия [8].

В целом было идентифицировано 260 выделенных штаммов бифидобактерий с определением у каждого штамма 27 параметров иммунологическо-

го, биохимического и биологического профилей. Суммарно эти данные представлены на рисунке 1.

Для анализа материала на первом предварительном этапе использовали кластерный анализ, обозначивший три группы пациентов (1 и 2 группы – эубиоз, 3 – дисбиоз), с последующим применением дискриминантного анализа штаммов с выявленными биологическими признаками бифидобактерий в каждой группе. Полученные материалы способствуют пониманию инициального сигналинга регуляции гомеостаза кишечного биотопа.

После проникновения в организм микробная клетка в условиях межмикробного общения оценивается бифидофлорой либо как “своя”, либо как “чужая”. В последнем случае бифидобактерии, используя своё приоритетное право [9] передачи информации о чужаке дендритной клетке хозяина, запускают механизм инициального сигналинга регуляции гомеостаза кишечного биотопа. Но для успешной работы дендритной клетки необходим определённый цитокиновый баланс, что позволяет ей закрепиться в нужном месте и в нужное время. Кто же будет готовить для дендритной клетки этот “фундамент” в месте прорыва чужака? На рисунке 2 показано, что подготовкой цитокинового баланса (группа А) занимаются бифидобактерии, а точнее *B. bifidum* (52%). Функцию же межмикробного распознавания “свой–чужой”, возложенную на *B. longum*, эти бактерии берут на себя (62%) совместно с *B. bifidum*. А в чём заключается функциональная нагрузка метаболических продуктов бифидофлоры?

Логично предположить, что метаболиты активно участвуют в реализации барьерной (запорной) функции, препятствуя проникновению патогенов

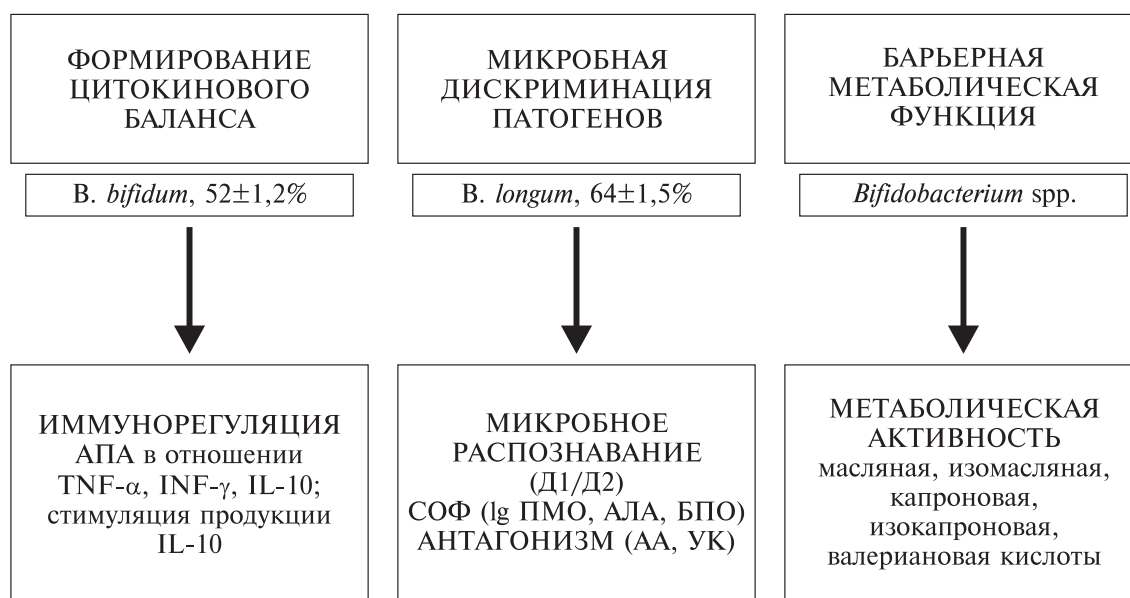


Рис. 2. Роль функциональных групп бифидобактерий в регуляции гомеостаза кишечного биотопа человека

через эпителий толстого кишечника, что описано для ряда кислот [8]. Нам представляется, что эти знания не будут лишними и могут использоваться для включения в пробиотическую композицию штаммов, продуцирующих короткоцепочечные жирные кислоты и обеспечивающих надёжную барьерную защиту эпителия от микробов. Таким образом, наличие патогенных микробов, с одной стороны, нам угрожает, а с другой — именно они способствуют организации колонизационной резистентности хозяина, то есть его защищают. Похоже Природа, расселяя микробы по планете, обеспечила “безбедное” существование части из них, сохраняя человека как вид.

Оценивая инфекцию как результат отношений “паразит—хозяин”, мы предложили рассматривать её в качестве модели (аналога), описывающей такое природное явление, как симбиоз, а точнее — *ассоциативный симбиоз* [10]. Современное определение симбиоза как “ассоциации между особями разных видов, сохраняющейся в течение значительной части жизненного цикла” [11, с. 352], позволяет признать симбиоз биологической основой инфекции. Универсальный биологический характер взаимоотношений симбионтов расширяет круг хозяев, включая человека, в тесном единстве с окружающим миром. Такой подход создаёт методологическую основу для выявления новых, ранее неизвестных механизмов межмикробных взаимодействий, взаимодействий про- и эукариот, расширяя наши представления в области инфектологии.

Анализ структурных особенностей паразитарной симбиотической системы выявил её много-

компонентность. Были определены векторы ассоциативного симбиоза — “хозяин-доминант”, “хозяин-ассоциант” и “доминант-ассоциант” (микросимбиоз). Функциональная нагрузка вектора “хозяин-доминант” очевидна, так как представители нормофлоры участвуют в формировании колонизационной резистентности хозяина в отношении патогенов независимо от биотопов организма. Включение в ассоциативный симбиоз бактерий-ассоциантов может иметь разные последствия для хозяина. Ассоцианты всегда стремятся “забронировать” себе место в соответствующем биотопе организма, включая свой персистентный потенциал, инактивирующий защитные ресурсы хозяина.

Изучение персистенции микроорганизмов способствовало разработке новых методических приёмов определения этого явления и выявлению неизвестных ранее персистентных характеристик бактерий при инфекции. Анализ этого материала свидетельствует о наличии *экологического детерминизма* изучаемого явления. Детерминизм (от лат. *determine* — определять) — философское учение о всеобщей объективной универсальной взаимосвязи и причинной обусловленности процессов и явлений природы — основа научного мировоззрения в медицине [12].

Что касается разбираемых адаптивных стратегий при взаимодействии возбудителя и хозяина, то очевидно, что наличие в биотопе хозяина определённого субстрата в слизистой оболочке органа (лизосим или лактоферрин) будет способствовать отбору тех штаммов бактерий, у которых имеется специфиче-

ский антифактор (или активность) — антилизозим или антилактоферрин. Именно это обстоятельство позволило выявить у микробной клетки ряд новых, ранее неизвестных признаков, определяющих их персистентный потенциал, своеобразный ключ от дома, то есть биотопа организма.

Микроорганизмы с персистентным набором остаются в организме, а со временем в процессе симбиоза приобретают полезные для хозяина качества. Для представителей медицинского профиля *персистентный потенциал микробов* оказался прекрасной биомишенью для расширения линейки терапевтических средств, так как позволяет управлять процессом лечения инфекционных больных. Другими словами, при инфекции это третий компонент, то есть внешняя среда, в которой происходит взаимодействие возбудителя с организмом хозяина. Итогом такого взаимодействия может стать резидентное бактерионосительство либо хронизация болезни. При столкновении возбудителя с хозяином кожа механически защищает нас, тогда как слизистые оболочки — слабо, и, вероятно, в порядке компенсации слизистая выстилка биотопов защищена наличием секреторных продуктов. Для слизистой оболочки ротовой полости это лизоцим (фермент мурамидаза), для репродуктивного тракта женщин — лактоферрин, полости носа — карнозин (дипептид). Но и наши вечные “дуэлянты” не дремлют, на генетическом уровне идёт отбор микробных клеток, имеющих соответствующие антифакторы (антилизозим, антикарнозин, антилактоферрин). Наличие антифакторов, имеющих генетическую природу [13], способствовало расширению диагностического диапазона в клинике (резидентное бактерионосительство либо хронизация инфекционного процесса).

Маркеры персистентного потенциала оказались полезны и в терапевтическом направлении, так как любые лекарственные, физиотерапевтические и биологические взаимодействия, снижающие или подавляющие персистентные признаки возбудителя, способствуют его элиминации (удалению) из организма хозяина.

Включение в симбиоз микроорганизмов-ассоциантов может способствовать усилению нормофлоры организма, то есть защите хозяина. Но, как правило, имеют место антагонизм ассоциантов и последующая интерференция (вытеснение) доминантной микрофлоры, формирование так называемого дисбиоза, нежелательного для хозяина. Описанный ход событий типичен для третьего вектора ассоциативного симбиоза — микросимбиозноза. *Микросимбиозноз* — единая динамическая система, состоящая из многовидовых консорциумов микроорганизмов, образующих симбиотические связи между собой и макроорганизмом, и создающая биокommunikации с широким диапазоном адаптационных возможностей (ауторегуляции и аутостабилизации) в целях

обеспечения гомеостаза для жизнедеятельности своей и хозяина. Как нам представляется, это определение термина “микросимбиозноз”, с точки зрения тезауруса, включает все три основные составляющие: микроорганизмы, совместное проживание и общение (биокоммуникативная активность) как между собой, так и с хозяином. Естественно, что и дальнейшее обсуждение материала по фактуре микросимбиозноза было сконцентрировано на изучении основной базовой физиологической функции микросимбионтов и определении системообразующего фактора рассматриваемого вектора симбиоза с учётом инфектологических интересов.

Оценивая микросимбиозноз в качестве биологической системы, обладающей регуляторной функцией, которая направлена на поддержание собственной сложной многовидовой структуры и выступает регулятором гомеостаза организма хозяина, мы выделили наиболее важную функцию микробной системы — размножение, а также две адаптационные характеристики (биоплёнокообразование и антилизозимная активность) к меняющимся условиям среды. Ради чего Природа трудилась на протяжении многих веков эволюции живых организмов? Ответ один: чтобы организм мог выжить и произвести новое поколение. Другими словами, его основная цель — воспроизводство вида. Следует признать, что этот вектор формирования защиты хозяина остался в наименьшей степени изучен микробиологами, хотя очевидны его перспективы в разработке нового направления — микробиологической терапии.

Микросимбиозноз оказался привлекателен и как база для изучения популяционной экологии микроорганизмов. Ушли в прошлое представления о самодостаточности бактериальной клетки и автономности её поведения в среде. Исходя из концепции онтогенеза бактериальных культур Н.Д. Иерусалимского [14], акцент исследований перенесён с обособленного бактериального организма на многоклеточную популяцию. Аргументом существования микроорганизмов в виде целостных культур служит их пространственно-обособленный рост в естественных местообитаниях, где они образуют микроколонию, биоплёнку, маты, цепочки и т.д. При этом постулируется наличие у микробов следующих признаков: фенотипическая гетерогенность клеток как типичного свойства микробной культуры; целостность микробной культуры как системы, что позволяет говорить об её онтогенезе, жизненном цикле; микроколонию (локальные клеточные агрегаты) микроорганизмов; способность культуры выделять химические вещества, определяющие её развитие; постоянное взаимовлияние микробной культуры и факторов внешней среды в процессе её онтогенеза. Считается, что эволюция прокариот шла по пути формирования гомогенных многоклеточных систем — популяций, в которых дифференцированные и специализиро-

ванные клетки полностью разобщены пространственно, а временное согласование их функций и взаимодействий обеспечивается гуморальными и физико-химическими механизмами. Именно такое равномерное разобщение в пространстве бактериальных клеток делает их чрезвычайно устойчивыми в экстремальных условиях, определяя их целесообразное и целенаправленное развитие. Для бактериальной популяции целью является сохранение вида путём накопления максимального для данных условий обитания количества биомассы.

В настоящее время в микробиологии сформировалось *популяционно-коммуникативное направление*. Обосновано представление о межклеточном матриксе из полисахаридов, который определяет целостность и гомеостаз бактериальной популяции и по которому распространяются сигнальные молекулы. Биополимерный матрикс — это основа, покрывающая популяцию и скрепляющая в ней клетки бактерий. Отсюда и функции, отсутствующие на уровне отдельных клеток, но успешно реализуемые популяцией. Формальное отсутствие единого управляющего центра микробной популяции с эстафетным принципом передачи сигналов позволяет бактериям по концентрациям сигнальных веществ оценивать и регулировать собственную плотность популяции. Направление этих работ было определено за рубежом как клеточный кворум QS (кворум-сенсинг, чувство кворума). Ощущение же кворума определяется пороговым уровнем внеклеточных ауторегуляторов, который зависит от плотности клеток в объёме, и используется бактериями в качестве механизма контроля за разнообразными физиологическими процессами — ограничением численности популяции, цитодифференцировкой клеток при образовании покоящихся форм, развитием генетической компетентности, сопряжённой с передачей плазмид, формированием биоплёнок, индукцией синтеза вторичных метаболитов, факторов вирулентности и др.

Сформирована доказательная база для изучения микробных популяций с позиции клеточного кворума [15]. Изучен “язык” общения микробов между собой, определены каналы “связи” (передачи информации) [16, 17]. Расшифрована химическая структура аутоиндукторов, обеспечивающих общение микробов. Эта работа активно продолжается и обещает получение новых сведений о микробной регуляции физиологических функций.

Разнообразие тактических приёмов выживания возбудителя в организме инфицированного человека трудно поддаётся исчерпывающему описанию. К числу таких малоизученных феноменов принадлежит апоптоз, или запрограммированная форма клеточной гибели. Факторы, активирующие генетическую программу и способствующие гибели инфицированных клеток вместе с возбу-

дителем, избавляют хозяина от инфекта, удаляя его вместе с поражёнными клетками. Приходится лишь удивляться, как инфицированный организм умудряется выбросить поражённую часть вместе с инфектом, сохраняя себе жизнь.

Апоптоз — физиологически важный механизм поддержания и сохранения стабильности клеточных элементов, механизм природной профилактики опухолевых заболеваний [18, 19], защитный феномен гибели инфицированных клеток с последующей их элиминацией из организма с инфектом, своеобразная санация хозяина и предотвращение распространения инфекционного агента в организме. Интересно, что в ряде случаев микробы умеют управлять апоптозом, регулируя его — индуцируя, либо отменяя. В настоящее время активно изучаются механизмы этого явления, определяются сигнальные пути активации апоптоза, уточняется роль каспаз — цистеиновых протеаз. Но всё же следует признать, что мы ещё далеки от понимания реальных механизмов управления апоптозом, а это лишнее свидетельство того, что в данном направлении предстоит ещё много интересной работы [20].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарин О.В., Литвин В.Ю. Патогенные бактерии в природных экосистемах. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1997.
2. Бухарин О.В., Усвяцов Б.Я. Бактерионосительство (медико-экологический аспект). Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996.
3. Сохин А.А. Парадокс инфекционного иммунитета // Журнал микробиологии. 1988. № 1. С. 73–80.
4. Бухарин О.В. Персистенция патогенных бактерий. М.: Медицина, 1999.
5. Беляков В.Д. Проблема саморегуляции паразитарных систем и механизмы развития эпидемического процесса // Вестник АМН СССР. 1983. № 5. С. 3–9.
6. Беляков В.Д., Голубев Д.Б., Каминский Г.Д., Тец В.В. Саморегуляция паразитарных систем. М.: Медицина, 1987.
7. Bukharin O.V. Infectious Symbiology: A New Understanding of Old Problems // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2016. № 5. P. 396–401; Бухарин О.В. Инфекционная симбиология — новое понимание старых проблем // Вестник РАН. 2016. № 10. С. 915–920.
8. Russell D.A., Ross R.P., Fitzgerald G.F. et al. Metabolic activities and probiotic potential of Bifidobacteria // Int. J. Food Microbiol. 2011. V. 149. № 1. P. 88–105.

9. Weiss G., Rasmussen S., Fink L.N. et al. *Bifidobacterium bifidum* Actively Changes the Gene Expression Profile Induced by *Lactobacillus acidophilus* in Murine Dendritic Cells // Plos One. 2010. V. 5. № 6. P. 1–11.
10. Бухарин О.В., Лобакова Е.С., Немцева Н.В., Черкасов С.В. Ассоциативный симбиоз. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2007.
11. Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М.: Мир, 1983.
12. Энциклопедический словарь медицинских терминов. Т. 1. / Под ред. Б.В. Петровского. М.: Советская энциклопедия, 1982.
13. Андриющенко С.В. Генетические детерминанты специфических секретируемых ингибиторов лизоцима в антилизосимной активности энтеробактерий. Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Оренбург, 2012.
14. Иерусалимский Н.Д. Физиология развития чистых бактериальных культур. Дисс. ... докт. биол. наук. М: ИНМИ АН СССР, 1952.
15. Эль-Регистан Г.И. Покой как форма адаптации микроорганизмов // Механизмы выживания бактерий. М.: Медицина, 2005. С. 11–129.
16. Гинцбург А.Л., Романова Ю.М. Некультивируемые формы бактерий // Механизмы выживания бактерий. М.: Медицина, 2005. С. 143–224.
17. Николаев Ю.А. Плакунов В.К. Биоплёнка — “город микробов” или аналог многоклеточного организма? // Микробиология. 2007. № 2. С. 140–163.
18. Владимирская Е.Б. Механизмы апоптоза клеток крови // Лабораторная медицина. 2001. № 4. С. 47–54.
19. Мазурик В.К. Успехи в изучении механизмов регуляции клеточного цикла, репарации ДНК и апоптоза при участии белка и гена p53 — первый шаг на пути к предсказываемой революции в лабораторной медицине XXI века // Лабораторная медицина. 2001. № 4. С. 33–43.
20. Зингангирова Н.А. Регуляция апоптоза микробными патогенами // Механизмы выживания бактерий. М.: Медицина, 2005. С. 387–399.

ЭТЮДЫ
ОБ УЧЁНЫХ

ВЕСЁЛАЯ ИГРА ПО РАЗГАДЫВАНИЮ ТАИН ПРИРОДЫ
К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Р. ФЕЙНМАНА

© 2018 г. Р.Н. Щербаков

Таллин, Эстония

E-mail: robertsch96@rambler.ru

Поступила в редакцию 12.11.2017 г.

Статья знакомит с биографией выдающегося американского физика лауреата Нобелевской премии Ричарда Фейнмана, известного своими работами по квантовой теории поля, квантовой электродинамике, физике элементарных частиц, статистической физике, сверхпроводимости и теории гравитации, а также уникальным вкладом в преподавание физики и её популяризацию.

Ключевые слова: квантовая механика, диаграммы Фейнмана, генерация частиц при столкновениях, нуклон, интегрирование по траекториям, квантованные вихри, лекции Фейнмана.

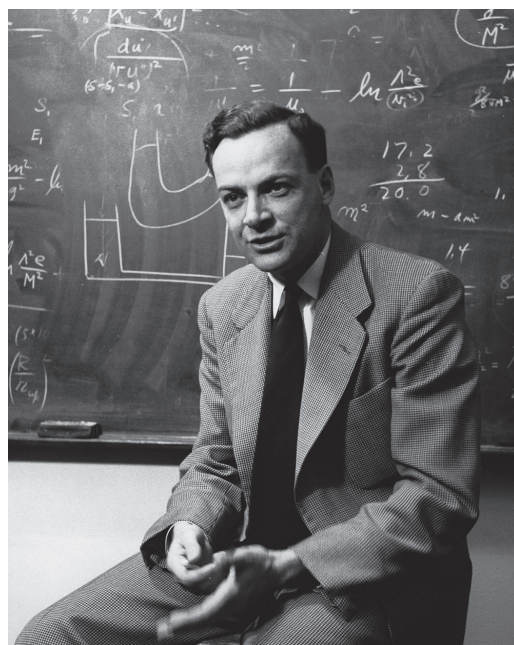
DOI: 10.31857/S086958730000088-4

Наука — это приобретённые нами знания о том,
как избежать самообмана.

Р. Фейнман

Ричард Филлипс Фейнман родился в Нью-Йорке 11 мая 1918 г. в семье выходцев из Белоруссии. Рассказы отца о природе, чтение “Британской энциклопедии”, опыты по электричеству, знакомство с математикой и теорией относительности — всё это способствовало осознанному выбору будущей профессии. В 1939 г. он окончил физический факультет Массачусетского технологического института. Однако, пытаясь найти работу по специальности, с трудом устроился в небольшую фирму, поскольку, по его воспоминаниям, “в то время никто толком не понимал, что такое физик, рабочих мест для физиков в промышленности не было. Инженеры — это да, но физики — никто не представлял, какой от них может быть прок. Интересно, что очень скоро — после войны — всё стало в точности наоборот: всем потребовались физики” [1, с. 65].

Научную деятельность Фейнман начал с публикации двух своих статей: одна из них была посвящена космическим лучам, вторая — силам в молекулах. Как наиболее успешного выпускника Массачусетского технологического института его приглашают в Принстонский университет, где



Ричард Фейнман. 1918–1988

ЩЕРБАКОВ Роберт Николаевич — доктор педагогических наук.

он становится аспирантом известного уже тогда, несмотря на возраст (всего 28 лет), Дж. Уилера. В 1942 г. Фейнман получает степень доктора

философии и целиком посвящает себя исследованиям в области ядерной физики, сначала в Принстонском университете, а в 1943–1945 гг. в Лос-Аламосской лаборатории, где в то время были собраны крупнейшие научные силы: Н. Бор, Э. Ферми, Г. Бете, А. Комптон, В. Вайскопф и другие знаменитые учёные, чьи знания направлялись Р. Оппенгеймером на решение атомной проблемы.

Вернувшись после окончания войны в институт, Фейнман заинтересовался экспериментами по тонкой структуре атома водорода. Возможны они стали благодаря развитию в годы войны микроволновой техники, позволившей значительно повысить точность измерений. Вместе с тем постановка новых опытов выявила острейшую необходимость в разработке теории, удовлетворительно объясняющей процесс излучения. Учёный приступил к её созданию.

Что касается преподавания, то Фейнман вступает на это поприще в должности ассистента. Но уже с 1946 г. он — профессор теоретической физики в Корнелльском университете, а с 1951 г. и до конца своих дней — Калифорнийского технологического института в Пассадене. Все эти годы он весьма успешно сочетает преподавание с исследовательской деятельностью. Результаты её впечатляют. Учёный разработал способ объяснения всевозможных превращений частиц, предложив использовать для этого так называемые диаграммы Фейнмана, с М. Гелл-Манном создал количественную теорию слабых взаимодействий, развил теорию квантованных вихрей в сверхтекучем гелии, применил методы теории возмущений квантовой теории поля к проблеме квантования гравитации, в теории кварков предложил партонную модель нуклона, в квантовой механике разработал метод интегрирования по траекториям. И это лишь часть его вклада в теоретическую физику.

Главным достижением Р. Фейнмана стало построение им в 1948 г., независимо от своего соотечественника Ю. Швингера и японского учёного С. Томонаги, квантовой электродинамики (КЭД), связавшей квантовую механику с релятивистскими представлениями. За фундаментальный вклад в её развитие, имевший глубокие последствия для физики элементарных частиц, всем трём учёным в 1965 г. была присуждена Нобелевская премия по физике.

Изучением этих проблем Фейнман занялся, будучи студентом последнего курса, продолжил их рассмотрение, учась в аспирантуре, и в итоге потратил на их решение, по его словам, около восьми лет. Из прочитанных книг он узнал, что “квантовая теория электричества и магнетизма была не совсем удовлетворительной”, а её затруднения проистекали “из бесконечной энергии взаимодействия электрона с самим собой... (и) бес-

конечностей, обусловленных бесконечным числом степеней свободы поля” [2, с. 147].

Действительно, уже существовали два абсолютно разных описания квантового мира: подход Э. Шрёдингера, основанный на волнах, и подход В. Гейзенберга, основанный на частицах. Тогда же П. Дираком было показано, что оба эти варианта полностью эквивалентны. Р. Фейнману удалось найти третий простой подход к квантовой механике, основанный на действии и позволявший решать задачи, не имевшие решения с позиций волновой функции, а ещё, что важно, увидеть связь этой теории с представлениями классической механики.

Опираясь на работы своих предшественников, прежде всего В. Гайтлера, П. Дирака, Я.И. Френкеля, а также поддержку своего руководителя Дж. Уилера, Фейнман проделывает значительную по трудности и объёму работу. Благодаря выдвинутому им принципиально новым физическим идеям он находит способ объяснения возможных превращений частиц на основе диаграмм, который он характеризует так: “У меня есть стоящий метод и я знаю, как решать задачи, которых не умеют решать другие” [2, с. 169, 170]. В общем виде диаграммы отражают физические процессы и математические выражения, используемые для их описания. В 1951 г. Фейнман опубликовал две итоговые статьи по квантовой теории, отметив по этому поводу: “Я закончил проект по квантовой электродинамике. У меня не осталось ничего, что следовало бы опубликовать” [3, с. 135].

Между тем подход Фейнмана к созданию теории КЭД и его аргументация большинству его коллег вначале показались спорными, ибо он очень многое буквально рисует в своём воображении. Лишь спустя два года, когда Ф. Дайсон дал достаточно доступное толкование новой теории в статье “Теория излучения Томонаги, Швингера и Фейнмана”, опубликованной журналом “Physical Review”, она стала положительно восприниматься научной общественностью. Эксперименты, поставленные в разное время в разных местах по проверке, например, мировых констант, описываются одними и теми же фейнмановскими диаграммами и дают одни и те же значения для каждой константы связи и массы. Когда постоянная тонкой структуры была измерена в Японии в 1990-х годах, она оказалась точно такой же, как и в Брукхейвенской лаборатории в Лонг-Айленде в 1950 г. или в Стэнфордском университете в 1970 г. Диаграммы Фейнмана доказали правильность подхода, предложенного их автором.

По словам Ф. Дайсона, сказанным после присуждения Нобелевской премии трём учёным, если Томонагу “более всего интересовали основные физические принципы”, а Швингер “был занят построением законченных основополагающих математических формулировок”, то Фейнман “не

пожелал воспользоваться готовыми рецептами, а потому был вынужден реконструировать всё здание квантовой механики и электродинамики по своим чертежам. Он вывел простые правила для непосредственного подсчёта физически наблюдаемых величин”. И далее Дайсон заметил, что изобретение Фейнманом диаграмм и интегралов “сделало возможным применение теории к решению конкретных проблем”, а его “расчётная методика стала стандартным приёмом в теоретических анализах не только в квантовой электродинамике, но и во всей физике высоких энергий. Настойчивость Фейнмана на обсуждении регистрируемых численных значений величин привела к более широкому употреблению S-матрицы, которая теперь доминирует в теории элементарных частиц и их взаимодействий” [4, с. 72]. По признанию американского физика Л. Сасскинда, “Фейнман придумал изящный способ изображать эти (квантовой теории поля) уравнения в виде картинок. Метод Фейнмана настолько интуитивно понятен, что позволяет изложить основы квантовой теории поля без единого уравнения. Фейнмановские диаграммы — это буквально фотографии событий, которые происходят при перемещении частиц в пространстве, столкновениях и взаимодействиях” [5, с. 76]. О доступности понимания фейнмановских диаграмм даже теми, кто далёк от проблем теоретической физики, свидетельствует мнение академика Л.Б. Окуня: “К сожалению, до самых широких масс... диаграммы Фейнмана не дошли. Я убеждён в том, что их необходимо довести до учеников средней школы, объясняя им основные идеи элементарных частиц. Это самый простой взгляд на микромир и на мир в целом” [6, с. 139].

В нобелевской речи Фейнмана в очередной раз проявилась его уникальная способность доводить научную мысль до понимания как своих коллег, так и широкого круга слушателей: “У нас вошло в привычку писать научные статьи так, чтобы они имели по возможности завершённый вид; в них не остаётся никаких следов тех тупиков, в которые мы попадали, никаких намёков на те ошибочные идеи, с которых мы начинали и т.д.” И далее: “При таких исключительных обстоятельствах мне было бы извинительно рассказать о своём отношении к квантовой электродинамике в личном плане, вместо того чтобы в тщательно отточенной и завершённой форме излагать сам этот предмет. Мне хотелось бы рассказать вам сегодня о последовательности событий, а вернее, о цепочке идей, которая привела меня к возможности отыскать другой конец одной до сих пор нераспутанной проблемы, за что я, собственно, и получил премию” [2, с. 146].

Впрочем, по Ф. Дайсону, все трое — Ю. Швингер, С. Томонаги и Р. Фейнман — “обошлись без фундаментальных нововведений. Они полностью сохранили физические основы теории, заложенные Дираком, изменив только математическую

надстройку. Доведя до совершенства формальный математический аппарат, они сумели показать, что теория предсказывает разумные результаты для всех регистрируемых величин. Точное соответствие между предсказанными теорией и полученными экспериментальным путём величинами и составляет основное достоинство теории” [4, с. 73].

Таким образом, усилиями трёх учёных был внесён порядок в самые разные области физики, кроме гравитации и теории ядерных сил. Квантовая электродинамика объединяет различные проявления физической реальности в незначительное число принципов большой общности и изящества, сплетает специальную теорию относительности с квантовой механикой в ткань высокой прочности, становясь в некотором смысле самой совершенной и наиболее развитой частью физики.

В 1955 г. Фейнман независимо от Л. Онсагера разработал теорию вращения гелия-II, объясняющую существование квантовых вихрей в сверхтекучем гелии. Позднее свою теорию вращения гелия-II, вначале неверную, а затем исправленную, создали Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц. Схожие взгляды на это необычное для тогдашней физики явление высказывал и ученик Л.Д. Ландау А.А. Абрикосов, в 2003 г. удостоенный вместе с В.Л. Гинзбургом и Э. Легеттом Нобелевской премии за работы по теории сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей.

Совместно с М. Гелл-Манном и независимо от Р. Маршака и Э. Сударшана Фейнман создал в 1957 г. количественную теорию универсального слабого взаимодействия, так называемую V-A-теорию. В формулировке, основанной на кварковой структуре адронов, суть этой теории в том, что полный слабый заряженный ток является суммой лептонных и кварковых токов, причём каждый из этих элементарных токов содержит одну и ту же комбинацию дираковых матриц [6].

Параллельно с разработкой теории слабых взаимодействий и после посещения в 1957 г. конференции о роли гравитации в физике Фейнман в течение последующих пяти лет работает над квантовой теорией гравитации, пытаясь связать гравитацию и квантовую физику. Больше всего его интересуют гравитационное излучение и возможность существования гравитонов. В 1963 г. он одним из первых высказал идею применять методы теории возмущений квантовой теории поля к проблеме квантования гравитации.

В 1969 г. Фейнман предложил модель нуклона, в которой точечные составные части протона и нейтрона, на которых происходит неупругое рассеяние электронов высоких энергий, назвал партонами (партонная модель нуклона). После подтверждения кварковой модели и асимптотической свободы в квантовой хромодинамике партоны были отождествлены с кварками и глюонами, составляющими

ми адроны (протоны, нейтроны, мезоны). Партонная модель является хорошим приближением для взаимодействий адронов при высоких энергиях.

В 1972 г. Фейнман развил полуфеноменологическую картину генерации новых частиц в процессе столкновений, так называемую масштабную инвариантность, или скейлинг. Он предсказал, что если энергетический спектр генерируемых частиц строить в определённом масштабе, то при высоких энергиях он должен достигать универсальной предельной формы — формы плато, слабо (логарифмически) расширяющегося по мере дальнейшего роста энергии.

Чтобы почувствовать “дразнящий вкус фейнмановского стиля работы” в науке и в преподавании [7], следует обратиться к его “Фейнмановским лекциям по физике” [8], книге “Характер физических законов” [2] и личным воспоминаниям, позволяющим познакомиться с его неординарным во многих отношениях взглядом на мир физики, на представления о характере современных исследований в физической науке, о специфике деятельности учёного и его роли в обществе.

О существе знания Фейнман в выступлении перед аудиторией американских учёных напоминает: “В явлениях природы есть формы и ритмы, недоступные глазу созерцателя, но открытые глазу аналитика. Эти формы и ритмы мы называем физическими законами. Природа устроена таким образом, что самые её важные факты оказываются отдалёнными следствиями более или менее случайного сочетания множества законов” [2, с. 10]. Далее: “В физике вы должны понимать связь слов с реальным миром. Получив какие-то выводы, вы должны их перевести на родной язык и язык природы — в медные кубики и стеклянные шарики, с которыми вы будете экспериментировать. Только так вы сможете проверить истинность своих выводов. В математике этой проблемы не существует вовсе” [2, с. 43]. И наконец, “физику нельзя перевести ни на какой другой язык. И если вы хотите узнать Природу, оценить её красоту, то нужно понимать язык, на котором она разговаривает” [2, с. 45].

Преимущество современного знания перед классическим он видит в том, что “природа знает квантовую механику, классическая же является лишь приближением, значит, нет ничего загадочного в том, что из-за классической механики выглядят там и сям тени квантово-механических законов, представляющих на самом деле их подоплёку” [8, сб. 8, с. 212]. Или ещё: “Когда мы от классической механики переходим к квантовой, то наши представления о важности тех или иных понятий во многом меняются” [8, сб. 6, с. 17].

Фейнман обращает внимание на существование в природе научной истины: в её получении исследователь видит смысл своей творческой деятельности: “В физике никогда не бывает настоящих парадок-

сов, потому что существует только один правильный ответ; по крайней мере, мы верим, что природа поступает только единственным способом” [8, сб. 6, с. 58]. В современной физике существует тенденция своеобразного упрощения, позволяющая просто и кратко изложить то, что когда-то потребовало от учёных многих и трудных лет работы.

Между тем ценность науки для общества и личности Фейнман видит в том, что, во-первых, “научное знание позволяет нам создавать важные, нужные вещи”, во-вторых, она “состоит в интеллектуальном удовольствии, которое одни учёные получают от чтения, изучения или обдумывания, а другие — используя её прикладные области” и, в-третьих, “это утверждения различной степени определённости: одни выдвигаются с долей сомнения, другие уверенно, но нет утверждений, выдвинутых с абсолютной уверенностью” [9, с. 188–193].

Знакомя слушателей с элементами квантовой электродинамики, Фейнман считает обязательным подчеркнуть важнейшую, по существу решающую роль учёных-исследователей в постижении физической реальности: “Природа всегда казалась безнадежно запутанной, но продвигаясь вперёд, мы различаем закономерности и сводим теории воедино; возникает какая-то ясность, и всё становится проще” [10, с. 168]. Он нередко обращался к вопросам, касающимся расширения научного знания: “Если наука должна двигаться вперёд, то, что действительно необходимо, так это возможность экспериментирования, честность в сообщениях о результатах, — о них нужно сообщать, не обращая внимания на то, какими их кто-то хотел бы видеть, — и наконец, и это очень и очень важно, умение разумно интерпретировать результаты” [2, с. 123].

Хотя Фейнман не доверял философии, он тем не менее приходил к выводам, которые можно причислить к философии и методологии науки. Например: “Наука — это способ научить тому, как неизвестное становится известным, в какой степени известны разные вещи, как справиться с сомнением и неопределённостью, каковы правила доказательства, как мыслить так, чтобы можно было делать суждения, как отличить истину от фальши, от показухи” [3, с. 143]. Фейнман считал, что “каждый шаг в изучении природы — только приближение к истине, вернее, к тому, что мы считаем истиной. Всё, что мы узнаём, — это приближение, ибо мы знаем, что не все ещё законы мы знаем. Всё изучается для того, чтобы снова стать непонятным или, в лучшем случае, потребовать исправления. Принцип науки, почти что её определение, это *опыт*. Опыт, эксперимент — это *единственный судья* научной истины” [8, сб. 1, с. 22]. “Наука говорит как раз о том, что более и что менее вероятно, а не доказывает каждый раз, что возможно, а что нет” [2, с. 138]. “Когда-то все явления природы делили на классы... Цель-то, однако, в том, чтобы понять *всю природу* как разные стороны *одной*

совокупности явлений. В этом задача фундаментальной теоретической физики нынешнего дня...” [8, сб. 1, с. 40]. “Любое открытие нового закона полезно лишь тогда, когда из него можно извлечь больше того, что в него было вложено” [8, сб. 1, с. 129].

Фейнман напоминает, что “наша наука предъявляет воображению немислимые требования. Степень воображения, которая теперь требуется в науке, несравненно превосходит то, что требовалось для некоторых прежних идей. Нынешние идеи намного труднее вообразить себе” [8, сб. 6, с. 133]. “Возникает вопрос: будет ли возможно всё слить воедино и обнаружить, что наш мир есть просто различные стороны какой-то одной вещи? Этого никто не знает” [8, сб. 1, с. 41].

Уровень преподавательской деятельности Фейнмана сопоставим с его научной деятельностью, а по значению едва ли не превосходит её. Являясь, наряду с Л.Д. Ландау, учёным мирового масштаба и последней крупной фигурой в физике (М. Фейнбаум), Фейнман был ещё и учителем физиков (В.Л. Гинзбург). Да и сам он однажды заметил, что через много лет его самым важным вкладом в физику будут считать, скорее всего, не КЭД и не какую-то другую теорию, а его “Фейнмановские лекции...”. Сам их автор относился к науке как к весёлой игре по разгадыванию тайн природы, как к своеобразному шоу, в ходе которого решаются задачи любого уровня. Игровое отношение к постижению вопросов физики, где участвуют на равных учёный и слушатель, он перенёс и в преподавание. Его убеждение, что “самые высокие формы понимания, которых мы можем достичь, — это смех и сострадание” [10, с. 18], обеспечивало ему благодарное внимание со стороны студентов. Учёный весьма серьёзно относился к своей лекционной деятельности: “Мне кажется, я не смог бы прожить без преподавательской работы” [1, с. 225]. Однако в отличие от Л.Д. Ландау, которого американский физик уважал и искренне считал “своим советским эквивалентом”, собственной научной школы, так уж сложилась его жизнь, он не создал.

Фейнман считал необходимым близкое взаимопонимание между преподавателем и обучаемым: “Я думаю, что самое лучшее решение проблемы образования — это понять, что самым превосходным обучением является прямая, личная связь между учеником и хорошим учителем, когда ученик обсуждает идеи, размышляет о разных вещах и беседует о них. Невозможно многому научиться, просто отсиживая лекции или даже просто решая задачи” [8, сб. 1, с. 15].

Пробуждение глубокого интереса к физике достигается им самыми разными приёмами. В своих лекциях он говорил о природе как о чём-то одушевлённом, живом: “Я собираюсь рассказать вам, как ведёт себя природа. И если вы просто согласи-

тесь, что, возможно, она ведёт себя именно таким образом, то вы увидите, что это очаровательная и восхитительная особа” [2, с. 106].

Кроме профессионального образования Фейнман занимался популяризацией знания посредством чтения лекций для широкой научной аудитории. Отечественный читатель познакомился с этой гранью его творчества благодаря изданию в нашей стране книг “Характер физических законов” (1968) и “КЭД — странная теория света и вещества” (1988).

Фейнмана беспокоило равнодушие общества к науке. В лекции, прочитанной им на Галилеевском симпозиуме в Италии в 1964 г., он скажет: “Думаю, вы все знаете по опыту, что люди — я имею в виду среднестатистического человека, — даже большинство людей, чудовищное их число, абсолютно игнорируют мировую науку и могут остаться навсегда на этой позиции, — это при-
собо́рно и достойно сожаления” [9, с. 140].

В эти же годы в СССР уделялось огромное внимание не только физико-математическому образованию, но и широкой популяризации научного знания посредством общества “Знание”, телевизионных передач, в первую очередь необходимо упомянуть телепередачу “Очевидное — невероятное” с ведущим С.П. Капицей. Издавался широкий круг научно-популярной литературы как для учащихся и студентов, так и для всех интересующихся [11]. Сегодня эта работа, правда, в гораздо меньших масштабах, продолжается за счёт издания популярных книг зарубежных и российских авторов.

“Думаю, что одна из важнейших задач учёных — объяснять и побуждать людей к постоянным умственным усилиям”, — отмечал Фейнман [9, с. 148]. “Почему можно пренебречь наукой? Потому что мы позволяем это. Нам следует набрасываться, критиковать те вещи, которые вызывают недоверие учёных, критиковать в форме дискуссии. Мы должны добиваться, чтобы в головах людей сформировалась более согласованная картина мира, чтобы они не позволяли себе роскоши расчленить свой ум на четыре или даже на две части — так, что, с одной стороны, они верят в это, а с другой — верят в то, но не могут сопоставить обе точки зрения” [9, с. 149, 150].

Вся многообразная деятельность Фейнмана проходила с осознанием громадной значимости науки для повседневной жизни человека и его мировоззрения. Он стремился пресекать попытки навязать американскому обществу антинаучные и мистические настроения. В эпилоге к “Фейнмановским лекциям по физике” их автор писал с надеждой: “Я хотел бы, чтобы большинство из вас смогло оценить красоту нашего прекрасного мира и вместе с тем получить физическое представление о мире, которое, я думаю, составляет сейчас главную часть истинной культуры нашей эпохи”

[8, сб. 9, с. 255]. Стоит отметить, что в СССР “Фейнмановские лекции по физике” оказались самой популярной книгой издательства “Мир” — за 20 лет было продано более 1 млн экземпляров. Переиздаются они и сегодня.

В 1974 г., обращаясь к выпускникам Калифорнийского технологического института, Фейнман подчёркивал: “Мы живём в век, далёкий от науки, когда все средства передачи информации — телевидение, книги и прочее — носят ненаучный характер”. Поэтому он советовал: “как избежать самообмана, — это вопрос высшей научной честности... Когда вы выступаете как учёный, вы не должны также обманывать неспециалистов, обычных людей” [9, с. 244, 273]. Это высказывание справедливо и применительно к нашему обществу.

Подобно П.Л. Капице, Фейнман полагал, что если наука влияет на образование, то и преподавание может стимулировать преподавателя-исследователя к решению актуальных научных проблем: “Вопросы, которые задают студенты, часто оказываются толчком к проведению новых исследований. Вопросы эти нередко бывают очень глубокими, касаются вещей, которые я в своё время обдумывал, но, так сказать, отступался от них, откладывал на потом” [1, с. 226].

Фейнман считал важным и необходимым проведение реформы физического образования на всех ступенях. Его деятельность как педагога в вузах давала образец отношения к обучению физике и в средней школе. В 1960-х годах он участвует в работе Калифорнийского государственного образовательного комитета, где выступает, в частности, против посредственного уровня учебных пособий по математике и физике.

За вклад в науку и образование Фейнман был удостоен в 1954 г. одной из высших наград в физике — медали Эйнштейна “За большой вклад в развитие физико-математических наук”, в 1980 г. — Национальной медали за науку, а также многих других наград. Особенно Фейнман гордился медалью Эрстеда за преподавание, полученной им в 1972 г.

Ричард Фейнман скончался 15 февраля 1988 г., не дожив до своего 70-летия около трёх месяцев.

Его творческое наследие содержит в себе немало ценного для каждого учёного, решающего научные проблемы или преподающего в вузе,

составляющего учебные программы и пишущего учебники и популярные книги. Современные физики отдадут должное его гению и личности. Признав, что Фейнман — “один из его немногочисленных героев”, В.Л. Гинзбург заметил: “Думаю, что Фейнман и Ландау люди одного масштаба, оба сделали в физике и для преподавания физики так много, что и перечислить, а тем более объяснить, нелегко. Такие люди, такие таланты... крайне редки, это буквально гигантские флуктуации. Среди представителей более молодого поколения физиков я что-то назвать подобных людей не могу” [12, с. 88, 89].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фейнман Р.* Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман! М.: КоЛибри, 2008.
2. *Фейнман Р.* Характер физических законов. М.: НЦ ЭНАС, 2004.
3. *Гриббин Дж. и М. Ричард Фейнман: жизнь в науке.* Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002.
4. *Дайсон Ф.* Томонага, Швингер и Фейнман — лауреаты Нобелевской премии по физике // *Успехи физических наук.* 1967. Т. 91. Вып. 1. С. 71–73.
5. *Сасскинд Л.* Космический ландшафт. СПб.: Питер, 2015.
6. *Окунь Л.Б.* О движении материи. М.: Физматлит, 2012.
7. *Щербаков Р.Н.* Р. Фейнман: объясняя саму суть предмета // *Педагогика.* 2015. № 6. С. 38–46.
8. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. В 9 сборниках. М.: Наука, 1965–1967.
9. *Фейнман Р.* Радость познания. М.: АСТ, 2013.
10. *Фейнман Р.* КЭД — странная теория света и вещества. М.: Астрель, Полиграфиздат, 1988.
11. *Щербаков Р.Н.* Заметки о научной культуре российского общества // *Вестник РАН.* 2012. № 12. С. 1101–1107.
12. *Гинзбург В.Л.* Памяти Ричарда Фейнмана — замечательного физика и удивительного человека // *Природа.* 1988. № 7. С. 86–89.

ЭТЮДЫ
ОБ УЧЁНЫХ

ТВОРЕЦ АГРОИНЖЕНЕРНОЙ НАУКИ
К 150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ
ПОЧЁТНОГО АКАДЕМИКА В.П. ГОРЯЧКИНА

© 2018 г. М.Н. Ерохин

Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

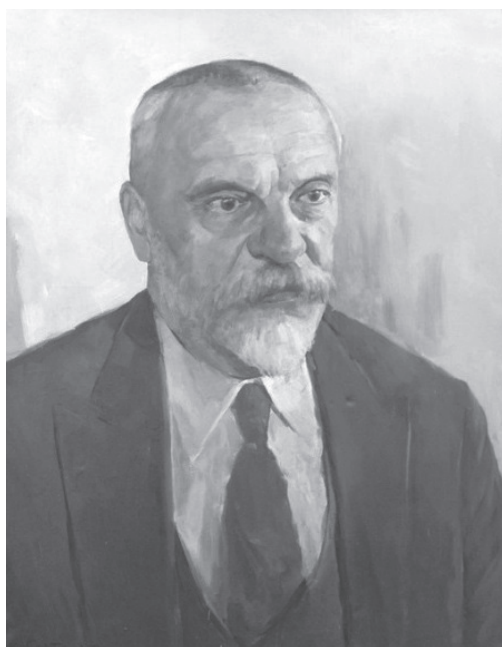
E-mail: ivme75@mail.ru

Поступила в редакцию 13.02.2018 г.

В статье изложен жизненный и творческий путь основоположника науки и образования в области агроинженерии академика Василия Прохоровича Горячкина — почётного члена Академии наук СССР, действительного члена ВАСХНИЛ, заслуженного деятеля науки и техники. Возглавив творческий коллектив русских инженеров и механиков, посвятивших себя изучению земледельческой механики, В.П. Горячкин внёс значительный вклад в становление и развитие отечественного сельскохозяйственного машиностроения. Василий Прохорович основал научную дисциплину “земледельческая механика”, был прекрасным педагогом, организатором и руководителем научно-исследовательских работ. Он принимал активное участие в создании научно-исследовательских и учебных институтов по сельскохозяйственному машиностроению и механизации сельского хозяйства и по праву входит в плеяду учёных, прославивших отечественную науку.

Ключевые слова: В.П. Горячкин, земледельческая механика, механизация, образование, испытания, сельскохозяйственная техника, наука.

DOI: 10.31857/S086958730000089-5



Василий Прохорович Горячкин. 1868–1935
Портрет неизвестного художника

Василий Прохорович Горячкин родился в Москве 29 января 1868 г. в семье мастерового из села Выксы (ныне г. Выкса), расположенного в чудесных местах Нижегородской губернии, где сливаются Ока и Волга. В тех краях ещё при Петре I в 1720 г. были открыты залежи железной руды, содержащей до 50% железа. В 1765 г. в Выксе Андреем и Иваном Баташёвыми был построен чугуноплавильный завод, а уже через несколько лет на этой небольшой территории работали 10 заводов, отличавшихся технической оснащённостью и качеством выпускаемой продукции. На Выксунских заводах работали предки В.П. Горячкина. Среди заводских мастеровых выделялись талантливые умельцы. К их числу относился и Прохор Иванович — отец Василия Прохоровича, который вначале работал горнозаводским мастером, затем обучился часовому делу. По свидетельствам исторических публикаций о Василии Прохоровиче [1–4], его отец обладал выдающимися техническими

ЕРОХИН Михаил Никитьевич — академик РАН, профессор кафедры “Сопротивление материалов и детали машин” РГАУ—МСХА им. К.А. Тимирязева.

способностями. После женитьбы на дочери мастерового из того же села он был отпущен на оброк и, переехав в Москву, устроился слесарем на строительство Николаевской (ныне Октябрьской) железной дороги. К концу строительства Прохор Иванович занимал должность помощника главного механика ремонтных мастерских. На строительство Троицкой (ныне Северной) железной дороги он перешёл уже как главный механик мастерских.

Василий Прохорович был последним, одиннадцатым ребёнком в семье. С детских лет он питал уважение к труду, любил бывать в мастерских у отца, наблюдать за уверенными движениями рабочих, занимающихся ремонтом паровозов. Он с удовольствием выполнял все их поручения и незаметно для себя и окружающих быстро приобрёл слесарные, токарные и другие навыки, которые впоследствии емугодились. Василий Прохорович сам делал многие экспериментальные установки и приборы. Он рано лишился родителей: в трёхлетнем возрасте потерял мать, а в 1880 г. году, когда ему было всего 12 лет, от брюшного тифа скоропостижно скончался отец. Заботу о воспитании Василия и его братьев Георгия, Виктора и Ивана взял на себя старший брат Николай. Он заменил отца и на работе, став главным механиком Троицкой железной дороги.

Николай Прохорович дал своим младшим братьям хорошее образование. Они все поступили во Вторую московскую гимназию, по тем временам считавшуюся престижной. После окончания гимназии с похвальным листом Василий в возрасте 18 лет поступил на физико-математическое отделение Московского императорского университета (ныне МГУ им. М.В. Ломоносова). Получив прекрасное механико-математическое образование в университете с дипломом I степени, он решил дополнить его техническим. Осенью 1890 г. он поступил на 2 курс Петербургского технологического института, но в январе 1891 г. по состоянию здоровья вернулся в Москву и продолжил обучение в Московском императорском техническом училище – МИТУ (ныне МГТУ им. Н.Э. Баумана). Здесь он общался со своим любимым учителем по университету Н.Е. Жуковским, который читал в МИТУ курс “Аналитическая механика”. Василий Прохорович особенно выделялся способностями к математике и механике. Он хотел работать в той же области, что и его отец, дядя, старший брат, о чём свидетельствует тот факт, что темой дипломного проекта он избрал паровоз. Но судьба распорядилась иначе.

В 1894 г. в открытом на базе Петровской сельскохозяйственной академии Московском сельскохозяйственном институте (МСХИ) потребовался специалист для чтения курса “Учение о сельскохозяйственных машинах и двигателях”. Департамент земледелия обратился к директору училища с просьбой порекомендовать одного из выпускни-

ков для этой работы. “Думаю, что для этой роли как нельзя лучше подойдёт В.П. Горячкин. Я знал этого молодого человека ещё в университете и уверен, что Департамент земледелия останется им доволен”, – обратился Н.Е. Жуковский к членам совета училища [5, с. 63]. Совет единодушно поддержал Николая Егоровича и с блестящей характеристикой рекомендовал Горячкина на преподавательскую работу в сельскохозяйственный вуз.

С целью изучения вопросов, связанных с производством сельскохозяйственных машин, Департамент земледелия МСХИ командировал В.П. Горячкина в поездку по России. В рецензии на его отчёт о командировке, подписанной директором Департамента земледелия МСХИ С.Н. Лениным, отмечалось: “В своём отчёте г. Горячкин касается весьма и чрезвычайно разнообразных вопросов, касающихся положения нашего сельскохозяйственного машиностроения, его недостатков и нужд. Он совершенно верно указывает причины, тормозящие развитие и улучшение нашего машиностроения, им обращено внимание на недостаточную у наших заводов специализацию производства и на несистематичность в последовательном производстве различных работ, на отсутствие необходимых заводских приспособлений, несовершенство подготовки идущих на сельскохозяйственное машиностроение материалов и на многое другое” [1, с. 16]. Эти выводы о состоянии сельскохозяйственного машиностроения, сделанные В.П. Горячкиным более 100 лет назад, к сожалению, актуальны и сегодня.

Обстоятельный отчёт о командировке по российским заводам послужил рекомендацией для зарубежной командировки. В.П. Горячкина направили в Германию и Францию для дальнейшего изучения сельскохозяйственного машиностроения и совершенствования в избранной специальности. Обобщая результаты посещения учебных заведений, заводов, научно-исследовательских институтов, машиноиспытательных станций, Горячкин пришёл к выводу, что науки о сельскохозяйственных машинах и орудиях ни в России, ни за рубежом, по сути, не существует. Создание сельскохозяйственных машин и орудий, по его выражению, находится “в том периоде бессознательного творчества, через который прошла вся техника” [1, с. 18]. Учение о сельскохозяйственных машинах представляло собой описательный курс по устройству различных машин, их монтажу и необходимым регулировкам. Перед Василием Прохоровичем предстало множество агрегатов, не имеющих между собой ничего общего.

Осенью 1896 г., по возвращении из командировки, В.П. Горячкин приступил к работе в МСХИ. Он читал курс “Учение о сельскохозяйственных машинах и орудиях” для агрономического и инженерного отделений и “Учение о двигателях” для



В.П. Горячкин на одной из своих первых лекций

инженерного отделения, параллельно начал большую научно-исследовательскую работу. Глубокое знание математики и талант механика позволили В.П. Горячкину классифицировать разнообразную сельскохозяйственную технику, определить задачи каждого вида машин, сформировать основу для построения теории сельскохозяйственных машин и методов их расчёта.

В начале преподавательской и исследовательской работы, ввиду отсутствия лабораторного оборудования В.П. Горячкин своими руками создавал модели плугов и других сельскохозяйственных орудий, изучая их работу в ящике с песком или в саду, принимал активное участие в организации выставок сельскохозяйственных машин и орудий, проводимых на Бутырском хуторе Московским обществом сельского хозяйства в 1896–1898, 1903, 1908–1910 гг. (с 1903 г. Василий Прохорович являлся председателем экспертных комиссий). Уже в 1898 г. вышла в свет его первая печатная работа “Отвал”, в которой он опубликовал разработанный им метод проектирования отвалов. Она была подготовлена в результате тщательного исследования рабочих поверхностей плужных корпусов и представлена как магистерская диссертация. Она и сегодня может служить образцом выполнения диссертаций для современных магистров. Классические труды В.П. Горячкина “Земледельческая механика” (1919) и “Теория плуга” (1925) были признаны выдающимися в кругах учёных нашей страны и за рубежом.

В своих работах Василий Прохорович уделял большое внимание обобщению и получению за-

кономерностей. Например, вместо многих разнообразных эмпирических формул для подсчёта сопротивления плугов при вспашке им была предложена рациональная трёхчленная формула, которая стала классической и прочно вошла в науку как формула Горячкина. Она не только позволяет определять сопротивление плуга, но и показывает пути повышения скоростей и снижения энергозатрат при вспашке. Примечательно, что формула имеет общий вид для всякого орудия или машины, движущихся в какой-либо среде: плуг в почве, теплоход в воде, резец при обработке материалов, автомобиль в воздушном потоке и т.д.

В трудах В.П. Горячкина (общий объём более 300 п.л.), кроме теории сельскохозяйственных машин, получили развитие такие фундаментальные вопросы, как теории масс и скоростей, удара и разрушения материалов, резания, общая схема природных явлений и процессов. Впоследствии Василий Прохорович назвал созданную им новую науку земледельческой механикой, которая и по сей день считается классической в области технических наук. Труды Горячкина показали глубину и серьёзность объекта исследования и то, какой сложный научный аппарат требуется для изучения и проектирования сельскохозяйственных машин.

Отмечая роль В.П. Горячкина в развитии науки о машинах, академик А.Н. Боголюбов писал: «Первым опытом создания теории технологических машин была “Земледельческая механика” В.П. Горячкина, в которой он впервые подошёл к исследованию машин не как наблюдатель, а как учёный: не он учился у техников, а наоборот, сам

обучал их науке строить машины» [6, с. 64]. Опыт Горячкина и его учеников был распространён в 1930-х годах на технологические машины других отраслей. Так началось исследование механизмов с высшими парами, входящих в состав различных технологических машин — кулачковых, зубчатых, энергетических, главным образом, паровых, которое затем распространяется на другие технологические машины: горные, горно-обогатительные, текстильные, химического машиностроения и пр.

В.П. Горячкин уделял много времени сбору и систематизации научно-теоретических разработок различных авторов в области земледельческой механики и сельскохозяйственных машин. Он систематизировал перечень изданий по сельскохозяйственной технике (1637 наименований на 11 европейских языках), разработал принципы схематизации сельскохозяйственных машин и узлов. Результатом этого титанического труда стала четырёхтомная коллективная монография под редакцией В.П. Горячкина «Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин». Первый том монографии был издан в 1935 г. ещё при жизни Горячкина, последующие тома — в 1936 г., уже после его смерти. Эта монография долгие годы была настольной книгой конструкторов и исследователей сельскохозяйственных машин. В ней сконцентрированы результаты всех известных к тому времени исследований, проведённых в нашей стране в области земледельческой механики и сельскохозяйственных машин, намного опережавших мировой опыт [7].

Во всех научных работах В.П. Горячкина чётко прослеживаются высокая культура теоретического анализа экспериментальных данных, основанная на фундаментальной механико-математической подготовке, умение добывать заслуживающие доверия факты с помощью простейших методов, но при строгом соблюдении принципов механики, средств эксперимента, стремление к систематизации, обобщениям и выявлению связи между явлениями природы и техникой. Горячкин уделял много внимания технологическим особенностям почвы и требованиям к качеству её обработки. Он постоянно подчёркивал, что сельскохозяйственное машиностроение должно базироваться на двух аспектах — агрономическом и механическом, в равной степени важных для надлежащего развития этой научной дисциплины.

Параллельно с научно-исследовательской и преподавательской работой В.П. Горячкин занимался пропагандой знаний о сельскохозяйственной технике. Для широкого круга специалистов, интересующихся вопросами механизации в сельском хозяйстве, он написал целую серию научно-популярных статей и брошюр. Только для «Полной энциклопедии русского сельского хозяйства», в которой Василий Прохорович редактировал раздел, посвящённый сельскохозяйственным машинам и двигателям, он лично написал 28 научно-популярных статей [8]. Он справедливо считал, что чем больше людей будет знать о достижениях в области создания сельскохозяйственной техники, тем шире и успешнее она будет при-



Машиноиспытательная станция

меняться. По его инициативе в 1910 г. при МСХИ были организованы курсы подготовки специалистов по сельскохозяйственным машинам. Многие выпускники этих курсов впоследствии стали известными конструкторами.

Неоценим вклад В.П. Горячкина в формирование системы испытаний сельскохозяйственной техники. Он упорно добивался строительства опытной станции для испытаний при МСХИ [9]. Ещё в 1906 г. по его предложению институт поставил этот вопрос перед Департаментом земледелия. В своём докладе на совете института Горячкин сказал: “Всякого рода опытные учреждения при высших учебных заведениях устраиваются в интересах научного, практического и педагогического характера. Все три стороны дела одинаково важны” [3, с. 79]. Говоря о третьей, педагогической, задаче станции, учёный отмечал, что студенты смогут получить “непосредственные сведения и впечатления о работе машин и методах их испытаний, а... при неизбежных неудачах развивают своё критическое отношение к будущей деятельности” [1, с. 43].

Несмотря на отсутствие официальной опытной станции и средств, В.П. Горячкин ежегодно проводил испытания сельскохозяйственных машин. Он и его ученики создали более 30 оригинальных приборов и приспособлений, применяемых при испытаниях различных видов сельскохозяйственной техники. Трудолюбие, настойчивость и способности В.П. Горячкина создали ему безупречную репутацию в научном мире. Заводы, частные изобретатели стремились получить от Василия Прохоровича

заключение и рекомендации по улучшению разрабатываемой и выпускаемой техники. “Так, изобретатель из Харькова, где имелась станция при Технологическом институте, привозил свою машину четыре года подряд, завод Столля (г. Воронеж) присылает свои плуги для исправления, завод Феникс из Риги предлагает для экспертизы свои изделия” [3, с. 80].

В 1913 г. после длительных согласований при МСХИ наконец-то была открыта машинно-испытательная станция, ставшая научным и педагогическим полигоном для инженерного отделения. Преподаватели, испытывая технику, параллельно обучали студентов – будущих агроинженеров. Неслучайно многие выпускники тех лет становились видными учёными и педагогами. Среди них И.И. Артоболевский, И.И. Бобарыков, П.И. Бородин, В.Н. Болтинский, В.А. Желиговский, Б.А. Криль, Н.Д. Лучинский и другие. За короткий период на станции были организованы фундаментальные исследования по определению технологических свойств почв, обоснован ряд технологических процессов и проведены широкие испытания соответствующих им технических средств, выявлены силовые и энергетические параметры агрегатов. Коллектив станции провёл стандартизацию плугов, исходя из качества и полезности работы. Были обобщены публикации, собраны и обработаны практически все образцы плужных корпусов, составлены схемы жатвенных машин и сеялок. Сотрудники станции быстро получили хорошую репутацию не только в России, но и за рубежом. Отечественные и зарубежные



Коллекция плугов в Музее агроинженерии и техники им. В.П. Горячкина

производители сельскохозяйственной техники стремились направить свои машины на испытания В.П. Горячкину. Они были уверены, что получат объективную и глубоко научную оценку. Ведущие фирмы передавали Горячкину образцы рабочих органов и машин для использования в учебном процессе. Бесценная коллекция плужных отвалов и ныне составляет одну из важнейших экспозиций Музея агроинженерии и техники им. В.П. Горячкина в Москве.

Несмотря на свою загруженность, В.П. Горячкин уделял достаточное внимание общественной деятельности. Он активно работал в Обществе содействия успехам опытных наук им. Х.С. Леденцова, возглавляя экспертную комиссию по сельскохозяйственным машинам. В те времена общество объединяло лучшие научно-технические силы России и сыграло немалую роль в техническом и научном прогрессе нашей страны. Работая там и проявляя большое внимание к изобретателям, Василий Прохорович фактически руководил всем русским изобретательством в области сельскохозяйственного машиностроения.

С первых дней работы в МСХИ В.П. Горячкин активно включился в совершенствование образовательного процесса. В октябре 1897 г. в институт пришёл ещё один будущий сподвижник В.П. Горячкина — Василий Васильевич Подарев. Как и Василий Прохорович, он имел два высших образования. В 1899 г. для преподавания теоретической и прикладной механики был приглашён Г.Г. Аппельрот, окончивший физико-математический факультет Московского императорского университета на два года раньше Горячкина. Горячкин вместе с Подаревым и Аппельротом активно занимались организацией инженерного отделения. Их усилия по повышению технического уровня обучения студентов находили одобрение и поддержку в совете института. Успехи инженерного отделения, готовившего специалистов по сельскохозяйственным машинам, стали настолько ощутимыми, что с 1904 г. лица, окончившие МСХИ со званием агроном-техник, были приравнены в правах с выпускниками лучших учебных заведений страны, таких как Московское техническое училище, Санкт-Петербургский и Рижский политехнические институты, а также Санкт-Петербургский и Харьковский технологические институты. С 1905 г. выпускникам инженерного отделения стали присваивать звание инженера-агронома 1 и 2 разрядов [1, с. 36].

В июне 1917 г. после Февральской революции МСХИ вновь переименовали в Петровскую сельскохозяйственную академию. Благодаря высокому авторитету В.П. Горячкина его избрали председателем совета профессоров (1918), ректором (1919–1920), а затем членом революционного совета тройки по управлению академией. Нелегко

было руководить академией в то время: с одной стороны, революционно настроенные общественные организации и пролетарское студенчество, с другой — академический совет и студенчество дореволюционного периода. Василий Прохорович направил всю свою энергию на налаживание хозяйственной жизни и поднятие трудовой дисциплины. По воспоминаниям профессора И.П. Прокофьева, Горячкин отличался большой собранностью, умел рационально организовать время, отведённое им для административных дел.

Став ректором, В.П. Горячкин использовал все возможности, для того чтобы окончательно оформить и выделить инженерный факультет и при нём специальное отделение, готовящее специалистов по сельскохозяйственным машинам. В 1928 г. это отделение было преобразовано в самостоятельный факультет — земледельческой механики. Благодаря целеустремлённой творческой деятельности Василия Прохоровича академия стала главным центром научной и технической мысли в области сельскохозяйственной механики и ведущей школой механизации сельского хозяйства.

Горячкин настойчиво искал и привлекал к преподавательской и научной работе в области земледельческой механики одарённых и образованных людей, способных внести свой вклад в эту отрасль. Так, был приглашён для работы на машиноиспытательной станции МСХИ В.Ю. Ган — выпускник Томского политехнического института, ставший крупнейшим специалистом отечественного сельскохозяйственного машиностроения, первым директором Ростсельмаша, членом-корреспондентом АН СССР. С помощью крупнейшего учёного в области прикладной механики профессора Н.И. Мерцалова Горячкин стремился поднять культуру этого предмета среди специалистов по сельскохозяйственным машинам. Мерцалов сразу же начал активно вести не только педагогическую, но и научную работу по сельскохозяйственным машинам.

Горячкин стремился к тому, чтобы в преподавании общеинженерных дисциплин уделялось внимание их профессиональной направленности. С этой целью он привлекал к научной работе ведущих профессоров общеинженерных дисциплин. Сам Василий Прохорович был не только талантливым исследователем, но и прекрасным педагогом. Он тщательно подбирал материал к лекциям, всё время добавлял что-то новое. Лекции, по примеру своего любимого учителя Н.Е. Жуковского, он сопровождал демонстрацией опытов, для чего делал модели. Вот, например, как отзывался о педагогическом мастерстве Василия Прохоровича И.И. Артоболевский: “В изложении В.П. Горячкина механика приобрела удивительную осязаемость... Многие из нас, его учеников... дважды слушали



В.П. Горячкин с коллегами на испытаниях

Слева направо: В.Ю. Ган, И.И. Бобарыков, Н.И. Мерцалов, В.П. Горячкин

курс “Земледельческой механики”, так как каждый год он читал что-то новое или рассказывал о новых последних исследованиях” [10, с. 71].

Вместе с В.В. Вильямсом и другими друзьями-профессорами Горячкин стремился подготовить не только студентов-специалистов, но и широко образованных культурных людей. Они

приобщали своих воспитанников к литературе и музыке, устраивая в академии музыкальные вечера, где частым гостем был оперный певец Л.В. Собинов. Такие вечера, безусловно, способствовали сплочению студенческого коллектива.

Создав новое научное направление, Горячкин стал неумолимым организатором науч-



В.П. Горячкин в группе сотрудников машиноиспытательной станции. 1919 г.

ных и педагогических центров. В 1928 г. на базе машиностроительной станции при Петровской сельскохозяйственной академии по инициативе Горячкина был создан Всесоюзный НИИ сельскохозяйственного машиностроения (ВИСХОМ), он же стал его первым директором. В 1930 г. организован Всесоюзный НИИ механизации сельского хозяйства (ВИМ, в настоящее время Федеральный научный агроинженерный центр), в котором Василий Прохорович до конца своей жизни занимал должность председателя диссертационного совета и научного консультанта.

Приступив к исполнению обязанностей директора ВИСХОМа, Горячкин сразу же выступил со статьёй “Пути развития земледельческой механики” (1929), в которой проводилась мысль о недопущении расхождения интересов промышленности и сельского хозяйства [11]. Однако этой идее не суждено было реализоваться, хотя она неоднократно обсуждалась. Например, в “Записке о типаже сельскохозяйственных тракторов”, подготовленной учеником Горячкина В.Н. Болтинским, указано, что формирование технической политики в области тракторостроения, а также сельскохозяйственного машиностроения должно осуществляться Министерством сельского хозяйства — потребителем этой техники, а не Министерством тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. К сожалению, сегодня в функции Министерства сельского хозяйства не входит даже разработка технических заданий на сельскохозяйственную технику.

Вместе с В.Р. Вильямсом, М.Г. Евреиновым, Б.С. Свирщевским, Н.И. Мерцаловым В.П. Горячкин активно занимался организацией Московского института механизации и электрификации сельского хозяйства (МИМЭСХ). Открытие института состоялось в 1930 г. В нём [12] плодотворно трудились последователи научного направления, созданного академиком Горячкиным, разработчики первых отечественных зерноуборочных комбайнов Герой Социалистического Труда, лауреат Государственной премии СССР академик ВАСХ-НИЛ И.Ф. Василенко, лауреат Государственной премии СССР доцент И.Ф. Попов. Долгие годы здесь работал Герой Социалистического Труда, дважды лауреат Государственной премии СССР академик ВАСХНИЛ В.Н. Болтинский, под руководством которого были проведены фундаментальные исследования проблем повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов, позволившие увеличить их производительность в 1,5 раза. К слову, идея повышения рабочих скоростей машинно-тракторных агрегатов была высказана Горячкиным за 25 лет до её реализации в работе “О силе тяги тракторных плугов”.

Идеи Горячкина, его устремлённость в будущее аграрной науки нашли отражение в подготовке

кадров для АПК России. И сегодня РГАУ—МСХА им. К.А. Тимирязева является экспериментальной площадкой для разработки учебных планов программ, учебников и учебных пособий по новым специальностям и специализациям. К настоящему времени в университете подготовлено свыше 45 тыс. специалистов агроинженерного профиля. Выпускники вуза работают в 60 странах мира, среди них видные государственные деятели, известные учёные, создатели сельскохозяйственных машин, тракторов, комбайнов, автомобилей, приборов и оборудования, лауреаты государственных премий.

В.П. Горячкин подчёркивал, что нельзя готовить хорошего специалиста в вузе, где мало внимания уделяется научной работе. В университете параллельно с учебным процессом проводятся многосторонние исследования по дальнейшему совершенствованию сельскохозяйственной техники, разработке энергосберегающих технологий, технического сервиса и др. Подготовка кадров, научные исследования осуществляются в содружестве с ведущими научно-исследовательскими институтами и производителями сельскохозяйственной техники не только России, но и ближнего и дальнего зарубежья.

В 1932 г. по рекомендации академика С.А. Чаплыгина кандидатура В.П. Горячкина была выдвинута для избрания в число действительных членов АН СССР. Но, несмотря на большой вклад в развитие науки и техники, он, будучи очень скромным человеком, снял свою кандидатуру, указав в заявлении, что считает свои труды недостаточными для этого [3]. Избрать его действительным членом без его согласия было нельзя. Ему присвоили статус почётного члена АН СССР, оценив таким образом его заслуги. “Избирая В.П. Горячкина своим почётным членом, — говорил тогда вице-президент АН СССР Г.М. Кржижановский, — академия тем самым не только отдала должное его трудам, но как бы включала в число прикладных механиков, имеющих первостепенное значение для современной техники, основанную им земледельческую механику” [1, с. 132]. К тому времени благодаря усилиям В.П. Горячкина в этом направлении была подготовлена большая группа специалистов. В земледельческой механике произошла революция — разработка новых конструкций сельскохозяйственных машин стала осуществляться на основе теории и строгих технических расчётов. Заслуги В.П. Горячкина были отмечены многими наградами.

В 1980 г. в день 50-летия Московскому институту инженеров сельскохозяйственного производства было присвоено имя В.П. Горячкина (ныне Институт механики и энергетики им. В.П. Горячкина в составе РГАУ—МСХА им. К.А. Тимирязева), а в здании опытной станции,

построенной по его инициативе, открыт музей В.П. Горячкина. В залах музея хранится уникальное собрание научного наследия основоположника земледельческой механики и научных школ института.

Несмотря на отделяющие нас от трудов В.П. Горячкина годы, сегодня они представляют исключительный интерес для всех, кто понимает и ценит огромные достижения российской науки. Земледельческая механика, ставшая классической, до сих пор широко используется при разработке новых видов сельскохозяйственных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дубровский А.А.* Академик В.П. Горячкин. М.: Сельхозгиз, 1960.
2. *Желиговский В.А.* Василий Прохорович Горячкин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1968. № 1. С. 1–9.
3. *Могиленец Л.И.* Творец земледельческой механики В.П. Горячкин (1868–1935) // Проблемы культурного наследия в области инженерной деятельности. Вып. 2. М.: Знание, 2001. С. 75–90.
4. Архив ВИСХОМ. Д. 24 от 1896 г.
5. *Емельянов А.* Василий Прохорович Горячкин // Советские инженеры. Сборник. М.: Молодая гвардия, 1985. С. 58–93.
6. *Боголюбов А.Н.* Советская школа механики машин. М.: Наука, 1975.
7. *Иофинов С.А., Еникеев В.Г., Скробач В.Ф., Шкрабак В.С.* Становление агроинженерной науки и образования в России (XIX–XX вв.). СПб.: Химиздат, 1999.
8. *Горячкин В.П.* Отдельные оттиски по различным видам машин // Полная энциклопедия русского сельского хозяйства. М., 1900–1905.
9. *Эрк Ф.* Из истории становления сельскохозяйственной механики в России. СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2004.
10. *Артоболевский И.И.* Корифеи естествознания и техники // Наука и жизнь. 1977. № 11. С. 68–75.
11. *Горячкин В.П.* Пути развития земледельческой механики // Сельскохозяйственная механика. 1930. № 1–2. С. 7–8.
12. *Ерохин М.Н.* Роль наследия В.П. Горячкина в агроинженерном образовании XXI века // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2008. № 1. С. 7–10.

БЫЛОЕ

АКАДЕМИЯ НАУК В ПЕРИОД ПЕРЕСТРОЙКИ

© 2018 г. Н.Л. Гиндилис

Институт истории естествознания и техники РАН, Москва, Россия

E-mail: gindilis@mail.ru

Поступила в редакцию 10.11.2017 г.

В статье рассматриваются наиболее значимые для Академии наук события, которые происходили в период перестройки 1985–1992 гг. на фоне масштабных перемен в идеологической, экономической и политической жизни нашей страны.

Ключевые слова: наука, Академия наук, перестройка.

DOI: 10.31857/S086958730000090-7

Как известно, Академия наук была основана 28 января 1724 г. в Санкт-Петербурге по распоряжению Петра I и первоначально называлась Императорской академией наук и художеств. В дальнейшем она не раз меняла своё название. До Октябрьской революции Академия наук не имела значительной материальной базы, ей принадлежало сравнительно небольшое число научных учреждений. В 1928 г. в её составе было 9 институтов, а в 1934 г. — уже 25 [1, с. 319].

Один из наиболее сложных периодов в развитии академии связан с октябрьским переворотом 1917 г., когда многие выдающиеся учёные эмигрировали, а оставшиеся пытались адаптироваться к новым жизненным реалиям. До 1925 г. академия находилась в ведении Главного управления научными, научно-художественными и музейными учреждениями (Главнаука). 27 июля 1925 г. постановлением Центрального исполнительного комитета и Совета народных комиссаров СССР её признали высшим научным учреждением страны [2], и она действительно обладала высоким

авторитетом. В 1933 г. постановлением ЦИК СССР Академию наук подчинили Совнаркому СССР для “достижения более полной связи... с практикой социалистического строительства” [3]. В 1934 г. Совнарком СССР принял постановление о её переводе из Ленинграда в Москву.

Науку в Советском Союзе уважали и денег на исследования не жалели, но уже в 1970-е годы стали заметно сокращаться возможности обновления материально-технической базы. Все учёные в те годы находились под идеологическим прессом, хотя в разной мере и по-разному: представители социальных дисциплин испытывали его тяжелее, нежели естественно-научных и гуманитарных. Обстановка в академических институтах хотя и была демократичнее, чем в других организациях, тем не менее не удовлетворяла научное сообщество. Претензии вызывали избыточная централизация управления, принятие решений без обсуждения с академической общественностью, редкая сменяемость руководства академии, его консерватизм и формализм, старение руководящих и рядовых кадров, протекционизм (например, при получении заграничных командировок) и т.п.

Учёные всегда принадлежали к наиболее активным в социальном плане слоям нашего общества. Его представителей в силу особенностей профессии отличает рефлексивное отношение к делу и к окружающей действительности. Свобода творчества не уживается с социальными ограничениями, а потому учёные часто встают в оппозицию к власти: до революции многие поддерживали протестные настроения студентов, а после революции — защищали гуманистические



ГИНДИЛИС Наталия Львовна — кандидат психологических наук, ведущий научный сотрудник ИИЕТ РАН.

идеалы и всеми силами сохраняли академические нормы научной жизни. В начале сталинского правления, когда в академию стали внедрять новых членов-коммунистов, “старые” академики дали им отпор, не проголосовав за их избрание. Даже когда репрессии в стране шли по нарастающей и академия становилась всё более послушной режиму, некоторые из её членов в декабре 1936 г. не поддержали исключение из своих рядов эмигрировавших академиков В.Н. Ипатьева и А.Е. Чичибабина. Позднее, уже в хрущёвские времена забаллотировали протеже Т.Д. Лысенко Н.И. Нуждина. В застойные брежневские годы протестные настроения выплёскивались в институтских курилках и на домашних кухнях.

11 марта 1985 г. на пост Генерального секретаря ЦК КПСС был избран М.С. Горбачёв. На пленуме ЦК КПСС он выдвинул программу экономических и политических реформ, основанную на эффективном использовании научно-технических достижений, которая вошла в широкое употребление под названием “перестройка”. В 1987 г. перестройку объявили новой государственной идеологией. Свидетели того времени помнят, какую небывалую общественную активность она вызвала в стране, открыв возможность для выражения недовольства государственной системой, в частности управлением наукой.

На фоне происходивших демократических перемен Академия наук как оплот тоталитаризма советской системы подвергалась жёсткой критике со стороны общественности, что диктовало необходимость изменения принципов её организации.

В ноябре 1986 г. во Владивостоке состоялось выездное заседание президиума АН СССР и Совета по координации научной деятельности академий наук союзных республик, где принимались решения о перестройке академической науки. Речь шла о необходимости устранения излишней централизации управления, что предполагало расширение полномочий и прав отделений. Отделение должно было стать основным научно-организационным центром академии, при этом всё ресурсное обеспечение оставалось строго регламентированным и сосредоточенным в президиуме.

Обсуждался и консерватизм структуры академических институтов СССР, который особенно бросался в глаза на фоне перехода мирового научного сообщества на конкурсные механизмы поддержки и финансирования фундаментальной и прикладной науки. Было заявлено о создании динамичной структуры институтов и повышении их самостоятельности. Подчёркивалась необходимость совершенствования прогнозирования и планирования научных исследований, сосредоточения сил на актуальных направлениях, а также улучшения координации научных исследований в системе академической, вузовской и отраслевой науки на базе

крупнейших общесоюзных программ. Затрагивались и проблемы совершенствования кадровой политики, прежде всего вовлечения молодёжи. Президиум Академии наук постановил реорганизовать существующую систему научных советов, комитетов и комиссий, устранив их параллелизм и дублирование [4]. В академических институтах проходили собрания, где звучала острая критика в адрес академии. Создавались союзы научных работников, которые разрабатывали свои программы реформирования АН СССР.

Руководство академии не могло игнорировать протестные выступления. В марте 1987 г. Общим собранием АН СССР было принято положение, согласно которому отделениям предоставлялось право решать не только научные, но и финансовые, кадровые и другие вопросы обеспечения научных исследований [5]. Расширились права научно-исследовательских институтов, что нашло отражение во Временном уставе НИИ: им предоставили возможность создавать временные коллективы, устанавливать размер зарплаты сотрудников. Институт теперь сам мог утверждать годовой план в соответствии с пятилетним планом отделения. Тогда же приняли множество поправок к уставу Академии наук, усиливающих демократический характер документа. Они коснулись в основном реорганизации отделений и положения о выборах в АН СССР. Демократические процессы в академии активизировались после июньского пленума ЦК КПСС 1987 г. Именно тогда в научно-техническую сферу впервые вошла идея конкурса, стали продвигаться принципы широкого внедрения достижений науки в практику, ускорения работ по ключевым программам, активного использования научно-технических лабораторий, создаваемых под решение конкретной проблемы [6].

В конце 1986 г. был принят Закон “Об индивидуальной трудовой деятельности” [7]¹, после чего стали возникать кооперативы, в том числе и в научной сфере. Представители академического сообщества начали налаживать взаимодействие с отечественным бизнесом для создания рынка научно-технической продукции. Так, на базе Института молекулярной биологии АН СССР возникло бюро “Наука—Бизнес” для формирования банка данных интеллектуальной и наукоёмкой продукции, которой располагали творческие коллективы академии, и экономических структур, нуждающихся в этой продукции.

В январе 1987 г. на пленуме ЦК КПСС была выдвинута задача коренной перестройки управления экономикой, что стимулировало создание совместных с зарубежными компаниями предприятий. В научном сообществе стали ориентироваться

¹ В 1991 г. он утратил силу на основании постановления Верховного Совета РСФСР от 25 декабря 1990 г.

на западные образцы организации науки при университетах, крупных и средних промышленных фирмах. Ставка делалась на конкурсное распределение ресурсов, в связи с чем встал вопрос о компетентной и объективной экспертизе. В условиях поддержки и даже инициирования научных исследований малым и средним бизнесом академия формировала рынок научно-технической продукции.

С 1990 г. начали развиваться новые формы финансирования небольших организаций, отдельных учёных и специалистов через инновационные банки и инновационные фонды, которые, кроме того, обеспечивали финансами рискованные проекты. Структуры эти, однако, были довольно зыбкими. Так, созданный при Государственном комитете СССР по науке и технике Инновационный фонд (Иннофонд) вскоре прекратил своё существование вместе с ликвидацией в 1991 г. ГКНТ. К тому же ещё не были разработаны механизмы стимулирования поддержки науки бизнес-структурами. Изменившийся характер научного знания, когда происходило сращение науки с высокими технологиями, диктовал необходимость прежде всего государственного финансирования. Страна же находилась в кризисе.

В 1989 г. прошла первая масштабная волна протеста против политики верхнего эшелона власти АН СССР. В то время академия как одна из общественных организаций имела право выдвигать в Верховный Совет СССР своих кандидатов. В ходе выборной конференции избирателей академии в институтах АН СССР прошли собрания, на которых кандидатами в народные депутаты были выдвинуты академики А.Д. Сахаров (55 институтами), Р.З. Сагдеев (24 институтами), Д.С. Лихачёв (19 институтами) и другие видные учёные. Однако президиум, проигнорировав эти выдвижения, отдал предпочтение “своим” кандидатам, что вызвало активный протест рядовых работников, вылившийся в митинг у здания президиума Академии наук. Его организаторы составили ядро межинститутской координационной группы, вокруг которой стали формироваться оппозиционные силы. На этой базе в течение нескольких дней была создана организация, противостоящая президиуму Академии наук, которая впоследствии стала известна как Клуб избирателей при АН СССР. Клуб начал активно участвовать в демократических преобразованиях Академии наук, и первым его достижением стало выдвижение в народные депутаты А.Д. Сахарова, Н.П. Шмелёва, Н.Я. Петракова и П.Г. Бунича. «Это было время “демократического романтизма”, но уже в 1994 г. оно представлялось временем “несбывшихся надежд”, — писала активистка Клуба избирателей Л.В. Вахнина [8]. В начале 1990-х годов клуб распался вслед за расколом демократического лагеря на гайдаровцев (сторонников Е.Т. Гайдара) и яблочников (сторонников Г.А. Явлинского).

В тот период усилия Академии наук СССР были направлены на укрепление значимости и суверенитета Российской Федерации. Напомню, что все союзные республики, кроме РСФСР, имели свои академии. В Российской Федерации её не было потому, что большая часть членов АН СССР работала в институтах, расположенных на территории РФ. 17 октября 1989 г. на заседании президиума АН СССР прошла дискуссия на тему “Какой быть Российской академии наук” [9], а 24 января 1990 г. вышел указ Верховного Совета РСФСР, утвердивший Академию наук Российской Федерации [10].

В марте 1990 г. на Общем собрании АН СССР вновь обсуждали принципы деятельности НИИ, которые должны были лечь в основу Временного устава научно-исследовательского института АН СССР. Структура НИИ и система его управления, согласно этим принципам, должны были перейти в компетенцию самого института. Предполагалась и демократизация процедуры выборов директора [11]. На том же собрании приняли постановление, разрешающее восстанавливать (посмертно) в членах Академии наук СССР учёных, необоснованно исключённых из академии. Впоследствии удалось издать биографический сборник “Трагические судьбы: Репрессированные учёные Академии наук СССР” (1995).

В 1990 г. — последнем в жизни Советского Союза — президент АН СССР Г.И. Марчук определил академию как особое ведомство, способное в будущем обрести статус общественной организации. “Её главной задачей, — говорил он, — должны стать координация научных исследований, определение перспектив науки, прогнозная и аналитическая деятельность, экспертиза проектов, кадровая политика” [12, с. 37]. Г.И. Марчук заявил о необходимости предоставлять большую автономию академическим институтам, создавать ассоциации институтов по профессиональному и региональному принципу.

Децентрализация и демократизация управленческих процессов должны были стать основой новой системы управления наукой. Так, председатель Государственного комитета по науке и технике академик Н.П. Лавёров писал в 1990 г.: “Государство в основном должно не командовать наукой, но оказывать ей поддержку, содействуя приоритетным, перспективным работам на основе предложений учёных, прошедшим соответствующую экспертизу” [13, с. 27]. Но победить административно-командный стиль, долгие годы господствовавший в управлении страной в целом и наукой в частности, оказалось не так-то просто.

23 августа 1990 г. Президент СССР М.С. Горбачёв издал указ, который изменил юридический статус АН СССР [14]. До этого Академия наук была, с одной стороны, самоуправляемой организацией (имела

свой устав), а с другой — подчинялась Совету министров СССР. Теперь же она становилась независимой от государственных структур. Академии передавалось в собственность имущество (земля, здания, оборудование и т.п.) и гарантировалась финансовая поддержка фундаментальной науки, которая, в отличие от прикладной, не может напрямую встраиваться в рыночные отношения. При этом науку вывели из числа стратегических приоритетов государства и приравнивали к “иным статьям экономии бюджета” [15, с. 43]. Такие шаги предпринимались в условиях снижения производства научного оборудования и увеличения его стоимости, что приводило к изношенности приборного парка Академии наук. Следует признать, что старение научно-технической базы началось ещё в советский период. Отсутствие стабильного и должного финансирования науки после перестройки усугубило этот процесс. В 1992 г. профессор М.Д. Франк-Каменецкий писал, что “учёные, возвращаясь из зарубежных командировок, везут сумки с лабораторным оборудованием и реактивами” [16, с. 40]. Стоит также отметить, что в те годы резко упал общественный интерес к науке, она перестала быть предметом национальной гордости.

Новым явлением в Академии наук стало приращение академических почётных званий политикам. Одним из первых звание члена-корреспондента РАН получил председатель Верховного Совета РФ Р.И. Хасбулатов. Появилась тенденция присваивать звания академиков и членов-корреспондентов РАН не за научные заслуги, а за достижения на административном поприще. Например, должность директора института предполагала статус члена-корреспондента или академика.

После распада в 1991 г. Советского Союза в стране наступила разруха. При этом многие наши сограждане пребывали в полной эйфории от свободы слова и вседозволенности. Бурные дебаты затронули и Академию наук. На повестке дня стоял вопрос о возможном слиянии РАН с АН СССР, рассматривалась также правопреемственность вновь созданной Российской академии наук. Президиум предложил считать нынешний состав АН СССР Российской академией наук и после выборов РАН объединить обе структуры в одну. Сторонники сохранения статуса союзной академии ссылались на её международное признание. За сохранение АН СССР высказались представители академий наук Армении и Казахстана [17]. 10 сентября 1991 г. президиум почти единогласно (за исключением А.А. Гончара, Л.В. Келдыша и Л.Д. Фаддеева) проголосовал за союзный статус Академии наук. Но институты один за другим ратовали за переход под юрисдикцию России. Несмотря на процессы демократизации, академия продолжала обвинять в отставании от демократических преобразований, проходивших в стране. 17 сентября 1991 г. президиум принял решение о необходимости сохранения единства

АН СССР и возвращении ей названия и статуса Российской академии наук. Этот вопрос обсуждали в октябре на Общем собрании АН СССР с участием представителей научной общественности [18]. 1 октября президиум АН СССР принял решение о проведении конференции учёных научных учреждений Академии наук СССР.

21 ноября 1991 г. вышел указ Президента России Б.Н. Ельцина об организации РАН с государственным статусом высшего научного учреждения страны [19]. Формирование РАН, согласно этому указу, должно было завершиться в декабре 1991 г. “с учётом рекомендаций Общего собрания Академии наук СССР, конференции учёных академических институтов, собрания учредителей Российской академии наук” [14]. Четвёртым пунктом указа за институтами и другими академическими структурами закреплялись здания, основные фонды и другое имущество. Забегая вперёд, скажем, что 3 августа 1992 г. вышло постановление Правительства РФ “О мерах по поддержке и развитию Российской академии наук”, в котором государственным органам предписывалось передать в ведомство РАН земельные участки и недвижимое имущество в постоянное пользование [20, с. 404–406].

Но вернёмся к событиям 1991 г. Выборы в РАН прошли 3–6 декабря. Через несколько дней состоялась первая конференция сотрудников Российской академии наук, в работе которой наряду с членами РАН (их было более 300) участвовали 650 делегатов, избранных тайным голосованием в академических институтах. Резких выступлений против демократических преобразований в академии не было. Целью собравшихся было определение путей преобразования РАН и её будущего. Центральная идея конференции, высказанная в докладе В.К. Финна и поддержанная многими членами академии, состояла в создании самоуправляемой ассоциации академических институтов. В её состав могли добровольно входить лаборатории вузов и отраслевых институтов, занятые фундаментальными исследованиями, что обеспечивало реальный механизм интеграции фундаментальной науки. Помимо этого предлагалось развивать конкурсную систему финансирования, доступную не только для крупных организаций, но и для отдельных учёных и творческих коллективов. Академик Е.П. Велихов отмечал, что если традиционно в академии существовали региональные и тематические отделения, то теперь появилась новая ассоциация, работающая над национальными программами. Он также обратил внимание на своевременность указа Президента РФ, поскольку уже началось разбазаривание имущества академии.

Академик Г.И. Марчук призвал не радикализировать нововведения в системе Академии наук, а проводить их осмотрительно, чтобы не разрушать накопленный годами позитивный опыт работы. Как проявление положительных тенденций он

отмечал повышение роли учёных советов академических институтов, которые стали выборными органами, расширение прав институтов при создании структур и распоряжении собственностью и средствами, выделяемыми государством на фундаментальные исследования.

При этом начальник Главного планово-экономического управления академии А.И. Коношенко подчёркивал, что реальное изменение цен значительно снижает возможности научных организаций в проведении исследований. Наибольший удельный вес во внутренних текущих расходах всегда занимали затраты на научные командировки, экспедиции, на материалы и реактивы, а они сократились по сравнению с 1990 г. на 70%. Существенно, примерно наполовину, снизились возможности академических учреждений в обновлении научного оборудования.

Критический взгляд на будущее фундаментальной науки подробно изложил академик Л.В. Келдыш, предположивший, что система чисто исследовательских академических институтов, беспрецедентная по масштабам, в будущем как единое целое сохраниться не сможет. Экономика диктует свои правила поведения и свои разумные пропорции между фундаментальной и прикладной наукой, между исследовательскими работами и подготовкой новых кадров. Раньше эти факторы игнорировались, теперь же надо жёстко ограничивать число поддерживаемых коллективов, ориентируясь только на высококлассные. Л.В. Келдыш высказался за то, чтобы большая часть коллективов сама зарабатывала в сфере образования или производства и лишь немногие национальные исследовательские центры получали базовое финансирование от государства. Он обозначил три пути в рынок: научно-исследовательский центр (для небольшого числа институтов); институт в структуре университета; институт в коммерческой структуре или самостоятельная инновационная фирма [21].

В декабре 1991 г. делегаты Учредительного общего собрания выборщиков РАН избрали президентом Академии наук академика Ю.С. Осипова. Академик А.А. Гончар представил проект Временного устава РАН, подготовленный рабочей группой комиссии по интеграции. Высшим органом Российской академии наук было названо, согласно этому документу, Общее собрание, состоящее из членов РАН и научных сотрудников, делегируемых учреждениями академии по установленным квотам. Последняя инициатива отражала демократические перемены в академии. Значительная часть поправок касалась положения устава, регулирующего взаимодействия академической, вузовской и отраслевой науки [22]. Но исполняющий обязанности председателя исполкома конференции РАН В.В. Борисов заметил, что

Временный устав РАН, принятый без принципиальных изменений в качестве постоянного, противоречит действующему законодательству, так как ещё не определён правовой статус РАН (государственная это структура или общественная организация?) и не прописаны в явном виде вопросы собственности [23].

8–9 апреля 1992 г. вице-президент РАН академик А.А. Гончар выступил на Общем собрании РАН с докладом “Концептуальные основы институтского устава”, в котором декларировалась самостоятельность институтов в решении экономических, социальных и организационных вопросов. Речь шла также о демократизации процедуры выбора директора: его кандидатура, предложенная президиумом и рассматриваемая на общем собрании сотрудников института, требовала поддержки не менее половины выборщиков [24, 25]. Научные сотрудники получили ряд прав: на конкурсное финансирование, независимую экспертизу, публикацию, наконец, право работать самостоятельно с согласия учёного совета вне планов научного подразделения института. Демократизация принципов управления академическими институтами научное сообщество встретило с энтузиазмом, эти перемены вселяли большие надежды.

30 июня 1992 г. делегаты Учредительно-объединительного съезда профсоюза РАН создали Профсоюз работников Российской академии наук. Перестройка в стране заканчивалась, РАН вступила в кризис 1990-х годов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Келдыш М.В.* Академия наук СССР // Большая советская энциклопедия. М.: Советская энциклопедия, 1970.
2. Постановление ЦИК СССР, Совета народных комиссаров “О признании Российской академии наук высшим научным учреждением СССР” // Библиотека нормативно-правовых актов СССР. <http://www.libussr.ru> (дата обращения 2017 г.).
3. Собрание законов СССР. 1933. № 73. Ст. 444. <http://www.libussr.ru/infdoc2.htm> (дата обращения 2017 г.).
4. *Марчук Г.И.* Перестройка научной деятельности академических учреждений в свете решений XXVII съезда КПСС // Вестник АН СССР. 1987. № 1. С. 3–13.
5. *Котельников В.А.* Об утверждении Временного устава научно-исследовательского института АН СССР, Положения об отделении АН СССР, Положения о секции Президиума АН СССР и о поправках к Уставу АН СССР // Вестник АН СССР. 1987. № 17. С. 78–82.

6. *Велихов Е.П.* О задачах АН СССР в свете решений июньского (1987 г.) Пленума ЦК КПСС // Вестник АН СССР. 1987. № 12. С. 14–26.
7. Постановление «О введении в действие Закона СССР “Об индивидуальной трудовой деятельности”» // Ведомости Верховного Совета СССР. 1986. № 47. С. 964.
8. *Вахнина Л.В.* Вспомнить, чтобы осмыслить // Курьер РАН и высшей школы. 1994. № 5. <http://www.courier-edu.ru> (дата обращения 2012 г.).
9. Какой быть Российской академии наук // Вестник АН СССР. 1990. № 2. С. 48–78.
10. Указ Президиума Верховного Совета РСФСР от 24 января 1990 г. “Об учреждении Академии наук Российской Федерации” // Ведомости Совета народных депутатов и Верховного Совета РСФСР. 8 февраля 1990. № 6. С. 135.
11. *Кудрявцев В.Н.* Об основных принципах деятельности научно-исследовательского института Академии наук СССР // Вестник АН СССР. 1990. № 7. С. 123–125.
12. *Марчук Г.И.* Перестройка фундаментальных исследований: цели, задачи, перспективы // Вестник АН СССР. 1990. № 5. С. 34–45.
13. *Лавёров Н.П.* Совершенствование управления НТП в условиях радикальной экономической реформы // Вестник АН СССР. 1990. № 5. С. 25–33.
14. Указ Президента СССР от 23 августа 1990 г. № 627 “О статусе Академии наук” // Вестник АН СССР. 1990. № 11. С. 3–4.
15. *Фортков В.Е.* Отечественная наука в переходный период // Отечественные записки. 2002. № 7. С. 43–52.
16. *Франк-Каменецкий М.Д.* Легко ли заниматься наукой, сидя на вулкане // Химия и жизнь. 1992. № 1. С. 39–41.
17. Хроника интеграции // Вестник РАН. 1998. № 1. С. 125–126.
18. Будущее фундаментальной науки: Выбор пути // Вестник АН СССР. 1992. № 1. С. 3–9.
19. Указ Президента РСФСР от 21 ноября 1991 г. № 228 “Об организации Российской академии наук” // Вестник АН СССР. 1992. № 1. С. 127–128.
20. Постановление Правительства РФ от 3 августа 1993 г. № 538 “О мерах по поддержке и развитию Российской академии наук” // Собрание актов Президента и Правительства РФ. 1992. № 6. С. 404–406.
21. Конференция сотрудников РАН. <http://www.iem.ac.ru/~kalinich/rus-sci/old/1991-1.htm> (дата обращения 2016 г.).
22. Учредительное общее собрание РАН // Вестник РАН. 1992. № 3. С. 5–30.
23. *Борисов В.В.* Исполком конференции учёных РАН // Курьер РАН. 1992. № 10. <http://www.courier-edu.ru> (дата обращения 2012 г.).
24. *Гончар А.А.* Концептуальные основы институтского устава // Вестник РАН. 1992. № 7. С. 33–37.
25. Общее собрание РАН // Вестник РАН. 1992. № 7. С. 28–33.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ОТДЕЛ

ПРЕЗИДИУМ РАН РЕШИЛ

(февраль–март 2018 г.)

• **Одобрить Примерное положение о Представительстве ФГБУ “Российская академия наук” на территории субъекта (субъектов) Российской Федерации.**

1. Общие положения

1.1. Представительство РАН является обособленным структурным подразделением РАН, расположенным вне места его нахождения, которое представляет интересы ФГБУ “Российская академия наук” и осуществляет его защиту на территории субъекта (субъектов) Российской Федерации (далее — регион).

Представительство РАН не является юридическим лицом и осуществляет свою деятельность на основании настоящего Положения.

1.2. Представительство РАН открывается и ликвидируется решением Общего собрания членов РАН.

1.3. Сведения о Представительстве РАН в установленном порядке вносятся в устав РАН.

1.4. Представительство РАН должно быть указано в едином государственном реестре юридических лиц.

1.5. Представительство РАН в своей деятельности руководствуется Конституцией РФ, федеральными законами РФ, указами и распоряжениями Президента РФ, постановлениями и распоряжениями Правительства РФ, законодательством РФ в сфере науки и образования, уставом РАН, постановлениями президиума РАН и распоряжениями РАН за подписью президента РАН.

2. Основные задачи

2.1. Основными задачами Представительства РАН является представление интересов РАН в регионе:

2.1.1. при обеспечении научно-методического руководства научными организациями и организациями высшего образования, расположенными на территории региона;

2.1.2. при содействии деятельности РАН, отделений РАН по областям и направлениям науки и региональных отделений РАН в целях эффективного проведения и развития фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований, направленных на

решение важнейших научных проблем, а также задач социально-экономического развития региона;

2.1.3. при координации направлений научных исследований в регионе, усиления интеграции научных исследований с привлечением всех сегментов науки региона — академического, образовательного, производственного;

2.1.4. в развитии контактов по линии региональных организаций в использовании информационных возможностей РАН в целях создания благоприятных условий для расширения всестороннего научного сотрудничества в регионе;

2.1.5. при участии в продвижении наукоёмких разработок и технологий в регионе;

2.1.6. в содействии проведению мероприятий на территории региона, а также в установлении и развитии научных контактов между представителями организаций научно-технической и образовательной областей.

2.2. Представительство РАН оказывает содействие установлению прямых научных связей между научными учреждениями, предприятиями и организациями региона, а также по проведению научных конгрессов, семинаров, выставок и др.

2.3. Представительство РАН оказывает содействие и помощь научным учреждениям и организациям высшего образования в заключении и реализации контрактов, договоров с предприятиями, организациями и учреждениями на территории региона.

2.4. Представительство РАН проводит консультации и оказывает помощь участникам научно-технического сотрудничества по вопросам правового, методического, информационно-рекламного характера.

2.5. Представительство РАН содействует разработке предложений по развитию научно-технического сотрудничества с организациями региона и информирует РАН по этим вопросам.

2.6. По поручению руководства РАН Представительство РАН проводит переговоры с партнёрами в регионе по вопросам научно-технического сотрудничества.

2.7. Представительство РАН в рамках решения основных задач РАН и реализации прав РАН,

определённых законодательством РФ и уставом РАН, защищает интересы РАН в органах государственной власти субъекта (субъектов) Российской Федерации, органах местного самоуправления, государственных органах, в организациях и перед гражданами.

3. Функции

3.1. Представительство РАН в соответствии с возложенными на него задачами по представлению и защите интересов РАН в регионе осуществляет следующие функции:

3.1.1. оказывает методическую помощь научным организациям, расположенным на территории субъекта (субъектов) РФ с целью получения экспертной поддержки разрабатываемых и реализуемых исследований, в экспертизе программ и проектов;

3.1.2. обобщает и подготавливает для руководства РАН материалы о результатах научных исследований и перспективах развития научных организаций, расположенных на территории субъекта (субъектов) РФ;

3.1.3. участвует в разработке рекомендаций по практическому использованию результатов научно-исследовательских работ;

3.1.4. участвует в подготовке предложений по совершенствованию сети научных учреждений и организаций, расположенных на территории субъекта (субъектов) РФ;

3.1.5. представляет и защищает интересы РАН в органах государственной власти субъекта (субъектов) РФ, органах местного самоуправления, государственных органах, в организациях и перед гражданами;

3.1.6. поддерживает международное научно-техническое сотрудничество научных учреждений региона;

3.1.7. вносит руководству РАН или регионального отделения РАН предложения по развитию научно-технического комплекса региона.

3.2. Представительство РАН подотчётно РАН и региональному отделению РАН в случае его расположения на территории региона.

4. Права

Представительство РАН имеет право:

4.1. взаимодействовать с отделениями РАН по областям и направлениям науки, структурными подразделениями аппарата президиума РАН, научными советами, комиссиями и комитетами РАН; запрашивать по согласованию с их руководителями материалы и документы для осуществления задач и функций Представительства РАН, которые предусмотрены настоящим Положением;

4.2. вести переписку с научными учреждениями и организациями, расположенными на территории субъекта (субъектов) РФ;

4.3. созывать совещания по вопросам, относящимся к компетенции Представительства РАН.

5. Права руководителя

5.1. Руководитель Представительства РАН назначается президентом РАН по согласованию с президиумом РАН (в случае создания Представительства РАН на территории регионального отделения РАН с учётом мнения регионального отделения РАН) и действует на основании доверенности.

5.2. Руководитель Представительства РАН:

обеспечивает выполнение возложенных на Представительство РАН задач, определённых настоящим Положением, и поручений руководства РАН;

ежегодно представляет в РАН необходимую отчётную документацию о деятельности Представительства РАН;

вносит предложения о структуре и штатном расписании Представительства РАН руководству РАН, а также утверждает должностные обязанности работников Представительства РАН;

осуществляет контроль за исполнением работниками своих должностных обязанностей, соблюдением трудовой дисциплины, вносит руководству РАН предложения о поощрении работников Представительства РАН, а также применении к ним мер дисциплинарного взыскания;

представляет в установленном порядке по поручению президента РАН интересы РАН по вопросам, входящим в компетенцию Представительства РАН;

осуществляет иные полномочия по вопросам, входящим в компетенцию Представительства РАН.

6. Ответственность

6.1. Руководитель Представительства РАН имеет персональную ответственность:

за своевременное и качественное выполнение возложенных на Представительство РАН задач и функций, предусмотренных настоящим Положением;

за хозяйственную и финансовую деятельность Представительства РАН.

6.2. Сотрудники Представительства РАН несут ответственность за выполнение обязанностей, определённых их должностными инструкциями.

7. Финансовая деятельность и имущество

7.1. Представительство РАН не осуществляет коммерческую деятельность.

7.2. Представительство РАН наделяется РАН имуществом, необходимым для реализации поставленных целей и задач.

7.3. Представительство РАН имеет штамп, бланк.

• **Утвердить Порядок утверждения общими собраниями отделений РАН по областям и направлениям науки кандидатов на присвоение звания “профессор РАН”.**

1.1. Настоящий Порядок утверждения общими собраниями отделений РАН по областям и направлениям науки кандидатов на присвоение звания “профессор РАН” разработан в соответствии с постановлением президиума РАН от 29 сентября 2015 г. № 204 и изменениями, принятыми постановлением президиума РАН от 28 ноября 2017 г. № 204.

1.2. Утверждения общими собраниями отделений РАН кандидатов на присвоение звания “профессор РАН” проводятся не реже одного раза в два года. Количество вакансий профессоров РАН, их распределение по отделениям РАН устанавливаются президиумом РАН.

1.3. Сообщение о проведении общих собраний отделений РАН по утверждению кандидатов публикуется на официальном сайте РАН не позднее, чем за два месяца до проведения процедуры утверждения кандидатов.

1.4. Для рассмотрения материалов, представленных кандидатами на присвоение звания “профессор РАН”, бюро отделений РАН организует комиссии секций отделений РАН из числа членов РАН.

1.5. Отделения РАН знакомят всех членов отделения РАН с представленными документами кандидатов на присвоение звания “профессор РАН”.

1.6. Комиссии рассматривают поступившие в отделения РАН документы, составляют заключения по кандидатурам и рекомендуют общему собранию отделения РАН наиболее достойных кандидатов на присвоение звания “профессор РАН”.

1.7. Комиссия представляет общему собранию отделения РАН заключения по всем кандидатам. После обсуждения кандидатов общим собранием отделения РАН производится процедура утверждения списка наиболее достойных кандидатов на присвоение звания “профессор РАН”. Утверждение списка проводится тайным голосованием. В голосовании на общем собрании отделения РАН принимают участие присутствующие на собрании члены РАН, состоящие в данном отделении РАН.

1.8. Для тайного голосования на общих собраниях отделений РАН раздаются бюллетени с фамилиями кандидатов. В бюллетене против фамилии кандидата указываются слова “утвердить” и “отклонить”, одно из которых зачёркивается голосующим. Если против фамилии кандидата в бюллетене либо оставлены оба слова, либо оба слова вычеркнуты, либо сделаны другие отметки, бюллетень в отношении данного кандидата считается недействительным.

1.9. Подсчёт голосов на общем собрании отделения РАН производится счётной комиссией, избираемой из числа членов РАН, состоящих в данном отделении РАН.

1.10. В первом туре голосования в бюллетень для голосования включаются все кандидаты, при этом первыми включаются кандидаты, рекомендованные комиссией.

1.11. Кандидат на присвоение звания “профессор РАН” считается утверждённым общим собранием отделения РАН, если за него проголосовало не менее двух третей членов РАН, состоящих в данном отделении РАН, принявших участие в голосовании, и число кандидатов, получивших в этом туре такое же или большее число голосов, не превышает числа всех имеющихся вакансий по данному отделению РАН.

1.12. В случае, если в первом туре голосования число утверждённых кандидатов по данному отделению РАН оказалось меньше, чем число вакансий по этому отделению РАН, проводится второй тур голосования. При этом в бюллетень для голосования включаются только кандидаты, получившие в первом туре более половины голосов членов РАН, состоящих в данном отделении РАН, принявших участие в голосовании. Кандидат на присвоение звания “профессор РАН” считается утверждённым во втором туре голосования, если в этом туре он получил более половины голосов членов РАН, принявших участие в голосовании, и число кандидатов, получивших в этом туре такое же или большее число голосов, не превышает числа вакансий по данному отделению РАН, оставшихся незаполненными после первого тура.

1.13. По представлению отделений РАН президиум РАН рассматривает вопрос о присвоении звания “профессор РАН” кандидатам, утверждённым решениями общих собраний отделений РАН.

1.14. Результаты утверждения общими собраниями отделений РАН публикуются на официальном сайте РАН и в других средствах массовой информации.

• Заслушав и обсудив доклад вице-президента РАН академика Ю.Ю. Балеги и академика РАН Р.З. Сагдеева по вопросу состояния и мер по обновлению приборного парка в научных и образовательных организациях в контексте задач научно-технологического развития (совместно с ФАНО России и Минобрнауки России), президиум РАН постановляет:

принять к сведению изложенную в докладе информацию о состоянии приборного парка в научных организациях и мерах по его обновлению;

поручить вице-президенту РАН академику Ю.Ю. Балеге и Приборной комиссии РАН (председатель — академик РАН Р.З. Сагдеев): сформировать в месячный срок в рамках Приборной комиссии РАН рабочую группу по подготовке стратегии развития приборной базы науки с участием членов РАН и с приглашением представителей органов государственной власти РФ по согласованию; провести с ФАНО России консультации по вопросу возможности централизованных закупок научного оборудования по представлению Приборной комиссии РАН;

рабочей группе в трёхмесячный срок подготовить стратегию развития приборной базы науки для последующего представления руководству РАН;

считать наиболее актуальными при подготовке стратегии развития приборной базы науки вопросы приоритетных направлений финансирования обновления приборного парка в научных организациях, развития государственно-частного партнёрства в данной сфере, сохранения биоресурсных коллекций;

поручить вице-президенту РАН академику **Ю.Ю. Балегу** в месячный срок подготовить для последующего представления руководству РАН проект обращения в Правительство РФ, содержащий предложения о возможности: включения в проект государственной программы РФ “Научно-технологическое развитие Российской Федерации” подпрограммы “Инструментальное обеспечение научных организаций” с ежегодным объёмом финансирования за счёт средств федерального бюджета в объёме не менее 30 млрд руб.; предоставления производителям научного оборудования, выпущенного в обращение на территории Российской Федерации, субсидий из федерального бюджета на возмещение затрат на его производство и реализацию по перечню, утверждённому Правительством РФ.

Контроль за выполнением постановления возложить на вице-президента РАН академика **Ю.Ю. Балегу**.

• Считать утратившим силу постановление президиума РАН от 16 февраля 2016 г. № 54 “Об утверждении состава Комиссии по золотым медалям и премиям имени выдающихся учёных, присуждаемым РАН”. Утвердить состав Комиссии по золотым медалям и премиям имени выдающихся учёных, присуждаемым РАН, в следующем составе: академик РАН **В.В. Козлов** — председатель; член-корреспондент РАН **А.А. Макоско** (заместитель главного учёного секретаря президиума РАН) — учёный секретарь; академики РАН **С.Н. Багаев**, **В.Б. Бетелин**; член-корреспондент РАН **А.А. Громыко**; академик РАН **А.А. Завалин**; член-корреспондент РАН **В.В. Кведер**; академики РАН **А.Н. Лагарьков**, **В.Л. Макаров**, **А.И. Мирошников**, **М.А. Островский**, **В.А. Тутельян**, **А.Ю. Цивадзе**, **В.Н. Чарушин**, **Б.Н. Четверушкин**, **А.О. Чубарьян**, **В.В. Ярмолюк**.

• Освободить академика РАН **М.В. Алфимова** от обязанностей главного редактора журнала “Химия

высоких энергий” РАН по личной просьбе, академика РАН **О.М. Нефёдова** от обязанностей главного редактора журналов “Известия Академии наук. Серия химическая” РАН и “Успехи химии” РАН по личной просьбе, члена-корреспондента РАН **С.С. Иванчева** от обязанностей главного редактора “Журнала прикладной химии” РАН.

За большую научно-организационную работу в должности главных редакторов журналов Отделения химии и наук о материалах РАН объявить академикам Михаилу Владимировичу Алфимову, Олегу Матвеевичу Нефёдову и члену-корреспонденту РАН Сергею Степановичу Иванчеву благодарность.

• Утвердить главными редакторами журналов Отделения химии и наук о материалах РАН с 13 марта 2018 г. сроком на пять лет: академика РАН **М.П. Егорова** — “Известия Академии наук. Серия химическая” и “Успехи химии”; доктора технических наук **Н.Н. Кулова** — “Теоретические основы химической технологии” (на новый срок); доктора химических наук **А.Л. Максимова** — “Журнал прикладной химии”; члена-корреспондента РАН **В.Ф. Разумова** — “Химия высоких энергий”; академика РАН **А.Р. Хохлова** — “Высокомолекулярные соединения”.

• Утвердить академика РАН **Г.Я. Красникова** главным редактором журнала “Микроэлектроника” РАН с 13 марта 2018 г. сроком на пять лет.

• Утвердить доктора исторических наук **Р.Г. Пихою** главным редактором журнала “Российская история” РАН с 13 марта 2018 г. сроком на пять лет.

• Утвердить доктора юридических наук **С.М. Шахрая** главным редактором журнала “Вопросы истории естествознания и техники” РАН с 13 марта 2018 г. сроком на пять лет.

• Освободить доктора биологических наук **А.Л. Буданцева** от обязанностей главного редактора журнала “Растительные ресурсы” РАН по личной просьбе. За большую научно-организационную работу в должности главного редактора журнала объявить Андрею Львовичу Буданцеву благодарность.

• Утвердить доктора биологических наук **Н.И. Ставрову** главным редактором журнала “Растительные ресурсы” РАН с 13 марта 2018 г. сроком на пять лет.

НАГРАДЫ И ПРЕМИИ

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ В.И. ВЕРНАДСКОГО 2018 ГОДА –
Э.М. ГАЛИМОВУ

Президиум РАН присудил золотую медаль им. В.И. Вернадского 2018 г. академику РАН Эрику Михайловичу Галимову за работы, внёсшие выдающийся вклад в развитие современной геохимии и учения В.И. Вернадского о биосфере.

Эрик Михайлович Галимов — выдающийся учёный в области наук о

Земле, специалист в области геохимии и изотопной биогеохимии, автор более 500 научных работ, соавтор одного открытия (ядерно-спиновый изо-

топный эффект) и ряда патентов на изобретения. В числе основных научных достижений Э.М. Галимова — исследования изотопно-геохимического состава органического вещества, математическое моделирование эволюции осадочных бассейнов, изучение происхождения алмазов, происхождения химической эволюции Земли и Луны. Он разработал изотопно-фракционный метод выявления нефтематеринских пород, давших начало образованию нефтяных залежей; выдвинул экспериментально подтверждённую гипотезу об образовании алмазов при кавитационных процессах в быстротекущей магме.

Э.М. Галимов — основатель научной школы “Глобальный цикл углерода: мантия—кора—океан—атмосфера”.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ И.В. КУРЧАТОВА 2018 ГОДА –
Н.Е. КУХАРКИНУ

Президиум РАН присудил золотую медаль им. И.В. Курчатова 2018 г. кандидату технических наук Николаю Евгеньевичу Кухаркину (Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”) за цикл исследований и разработок перспективных ядерно-энергетических установок для авиации и космоса, в том числе вы-

сокотемпературных газовых реакторов, и за общий вклад в развитие атомной энергетики СССР и Российской Федерации.

В удостоенном золотой медали цикле исследований и разработок перспективных ядерно-

энергетических установок для авиации и космоса обоснован выбор материалов и схем защиты от излучения различных реакторов пилотируемых атомных самолётов, разработана программа испытаний летающей атомной лаборатории.

Н.Е. Кухаркин — один из инициаторов создания и освоения ядерно-энергетических установок с прямым преобразованием энергии для космических аппаратов. Эти достижения позволили СССР, а затем и России оставаться лидером в аэрокосмической области, явились существенным заделом для дальнейших исследований. Н.Е. Кухаркин выполнил цикл исследований по разработке концепции топлива и применения высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов, в том числе малой мощности. В составе рабочей группы специалистов Курчатовского института он внёс существенный вклад в разработку концепции развития атомной энергетики России до 2050 г.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ А.П. АЛЕКСАНДРОВА 2018 ГОДА – Н.Н. ПОНОМАРЁВУ-СТЕПНОВУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. А.П. Александрова 2018 г. академику Николаю Николаевичу Пономарёву-Степнову за выдающиеся работы, внесшие большой вклад в исследования и разработки в области двухкомпонентной атомной энергетики, атомно-водородной энергетики, и многолетнюю плодотворную деятельность.

Под руководством и при непосредственном участии Н.Н. Пономарёва-Степнова разработан реактор нового типа “Руслан” для производства изотопов, внедрённый в промышленность на НПО “Маяк” с большим экономическим эффектом, создан первый в мире реактор-преобразователь “Ромашка” с термоэлектрическим генератором, ядерно-энергетическая установка “ТОПАЗ-2”, высокотемпературный газоохлаждаемый испытательный реактор, проведён цикл исследований по распространению нейтронов и гамма-излучения в средах.

ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ П.К. АНОХИНА 2018 ГОДА – С.К. СУДАКОВУ



Президиум РАН присудил золотую медаль им. П.К. Анохина 2018 г. члену-корреспонденту РАН Сергею Константиновичу Судакову за серию работ по теме “Изучение взаимодействия центрального и периферического отделов эндогенной опиоидной системы”.

Удостоенная золотой медали серия работ посвящена изучению механизмов мотивации, эмоции и подкрепления. С.К. Судаковым сформулирована концепция о взаимодействии центрального и периферического отделов эндогенной опиоидной системы.

периферического отделов эндогенной опиоидной системы, согласно которой активация периферических опиоидных рецепторов, расположенных в желудке и в начальном отделе кишечника, приводит к подавлению активности центрального отдела эндогенной опиоидной системы. Происходящие при этом изменения в активности эндогенной опиоидной системы мозга воздействуют на эмоциональное состояние человека и животных, а также влияют на естественные и патологические мотивации.

Концепция имеет не только большое научное значение, но и открывает широкие возможности разработки принципиально новых психотропных препаратов периферического действия, лишённых побочных эффектов, присущих классическим психотропным средствам.

ПРЕМИЯ ИМЕНИ Б.Б. ГОЛИЦЫНА 2018 ГОДА – В.В. АДУШКИНУ и А.А. СПИВАКУ



Президиум РАН присудил премию им. Б.Б. Голицына 2018 г. академику РАН Виталию Васильевичу Адушкину и доктору физико-математических наук Александру Александровичу Спиваку (Институт динамики геосфер РАН) за

монографию “Физические поля в приповерхностной геофизике”.

Удостоенная премии монография является первым в России обобщающим трудом, в котором глубоко и обстоятельно анализируются геофизические поля как факторы, объединяющие между собой внутренние и внешние геосферы в единую саморегулирующуюся систему. Особую значимость монография приобретает ввиду того, что в ней приводится большое количество данных инструментальных наблюдений, проведённых авторами в полевых условиях. Показано влияние лунно-солнечного прилива на разнообразные механические процессы, протекающие в твёрдой среде. Монография особенно актуальна в связи со всё возрастающей необходимостью исследования взаимного влияния природных процессов, а также установления условий среды обитания человека.

БОЛЬШАЯ ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК 2017 ГОДА

Высшие награды Российской академии наук — Большие золотые медали имени М.В. Ломоносова 2017 г. присуждены: Юрию Цолаковичу ОГАНЕСЯНУ за фундаментальные исследования в области взаимодействия сложных ядер и экспериментальное подтверждение гипотезы существования “островов стабильности” сверхтяжёлых элементов и профессору Бьорну ЙОНСОНУ (Швеция) за работы фундаментального характера, имеющие основополагающее значение для исследований ядерной структуры и ядерной стабильности экзотических легчайших ядер на границах нуклонной стабильности.

АКАДЕМИК РАН ЮРИЙ ЦОЛАКОВИЧ ОГАНЕСЯН



Академик РАН Юрий Цолакович Оганесян — учёный с мировым именем в области ядерной физики, в том числе взаимодействия и свойств сложных ядер. Он широко известен мировой научной общественности своими экспериментальными исследованиями по синтезу и изучению свойств новых элементов Периодической таблицы химических элементов Д.И. Менделеева. Вместе с академиком Г.Н. Флёровым Ю.Ц. Оганесян стал создателем в нашей стране научно-технической и экспериментальной базы нового научного направления — физики тяжёлых ионов. За исследования в этой области он был удостоен Государственной премии РФ.

Как известно, одна из фундаментальных проблем естествознания связана с определением границ масс ядер. Пределы существования химических элементов, по современным воззрениям, определяются нестабильностью атомного ядра. Пионерские исследования Ю.Ц. Оганесяна, связанные с механизмом взаимодействия сложных ядер, созданием мощных ускорителей тяжёлых ионов, разработкой оригинальных методов изучения редких процессов ядерных превращений, привели к выдающимся

результатам. Среди них следует отметить такие, как экспериментальное доказательство влияния структуры ядерной материи на коллективное движение ядер большой амплитуды (слияние и деление); открытие нового класса реакций — холодного слияния массивных ядер, используемых в течение почти 40 лет в мировой практике для синтеза и исследования свойств самых тяжёлых элементов с атомными номерами от 107–113. Прорыв в область сверхтяжёлых ядер в реакциях горячего слияния под действием пучка ионов редкого изотопа кальция-48 привёл к синтезу тяжелейших элементов с атомными номерами 114, 115, 116, 117, 118.

Открытие в 2000–2010 гг. целого семейства сверхтяжёлых элементов, определение детальных ядерных свойств 52 новых нейтронно-избыточных нуклидов — членов этих семейств — явились первым и прямым экспериментальным доказательством существования на карте ядер “острова стабильности”, предсказанного теорией около 50 лет назад. По решению международных союзов физики и химии (IUPAP, IUPAC) новые элементы включены в Периодическую таблицу химических элементов Д.И. Менделеева. В знак выдающегося вклада профессора Ю.Ц. Оганесяна в исследование тяжелейших ядер и атомов самому тяжёлому элементу с атомным номером 118 присвоено название “оганесон”.

На основе идей Ю.Ц. Оганесяна в международных научных центрах других стран мира создаются новые ядерно-физические и химические лаборатории и разрабатываются программы широкого фронта работ по исследованию ядер на границах стабильности. В Объединённом институте ядерных исследований (Дубна) завершается создание первой в мире “фабрики сверхтяжёлых элементов” — уникального ускорительного комплекса, который станет центром будущих исследований тяжелейших элементов. Помимо высокой научной значимости трудов Ю.Ц. Оганесяна, которые поднимают исследования в данной области на новый уровень, они укрепляют лидирующие позиции и международные связи российских физиков-ядерщиков.

ПРОФЕССОР БЬОРН ЙОНСОН (BJORN JONSON)



Профессор Бьорн Йонсон — выдающийся шведский учёный, профессор Технологического университета Чалмерса (Швеция), автор более 250 научных работ в области ядерной физики. Он известен в первую очередь своими пионерскими работами, связанными с развитием техники вторичных пучков радиоактивных ионов, а также экспериментальными и теоретическими исследованиями структуры ядер, расположенных вблизи границ нуклонной стабильности. Вклад Б. Йонсона в исследования структуры экзотических нейтронно-избыточных ядер отмечен премиями Гумбольдта в 1997 г. и Гельмгольца в 2012 г.

Наряду с работами по синтезу сверхтяжёлых элементов исследование ядер легчайших элементов вблизи границ нуклонной стабильности является одной из интереснейших и бурно разви-

вающихся областей ядерной физики. Успех этого направления непосредственно связан с получением пучков ядер, время жизни которых составляет секунды и доли секунд. Профессор Б. Йонсон был одним из соавторов пионерских работ по получению в ЦЕРНе подобных пучков, результаты этих работ легли в основу создания действующих и проектируемых ускорительных комплексов во многих лабораториях мира.

Работы профессора Б. Йонсона нацелены на исследования структуры ядер, сильно меняющейся при подходе к границам нейтронной или протонной стабильности. К наиболее ярким результатам его деятельности относятся исследования процесса образования нейтронного гало у изотопов гелия, лития, бериллия, бора, сильно обогащённых нейтронами.

В настоящее время деятельность Б. Йонсона посвящена в основном экспериментальным исследованиям нейтронно-избыточных ядер на действующих установках ISOLDE (ЦЕРН) и FRS (GSI, Германия). Он один из лидеров научной программы NUSTAR международного ускорительного комплекса FAIR (Германия), в котором на основе межправительственного соглашения стран Европы активное участие принимают российские учёные.

В 2006–2012 гг. профессор Б. Йонсон был членом Нобелевского комитета, а в 2012 г. — председателем Нобелевского комитета по физике. В настоящее время он член Датской Королевской академии наук и литературы, председатель физического отделения Шведской королевской академии наук, с 2012 г. — член Европейской академии. Под его руководством защищён ряд диссертаций, в том числе и соискателями из Российской Федерации.