

Том 93, Номер 10

ISSN 0869-5873

Октябрь 2023



ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

www.sciencejournals.ru



СОДЕРЖАНИЕ

Том 93, номер 10, 2023

С кафедры президиума РАН

Е. Н. Каблов, В. В. Антипов

Роль материалов нового поколения в обеспечении технологического суверенитета Российской Федерации 907

Э. Р. Бадамшина, Е. С. Горнев

Пути достижения технологической независимости в области материалов для микроэлектроники 917

Наука и общество

С. В. Кабышев

Правовая стратегия научно-технологического развития Российской Федерации 923

Проблемы экологии

В. И. Данилов-Данильян, В. М. Катцов, Б. Н. Порфирьев

Экология и климат: где мы сейчас и где будем через два-три десятилетия
Общемировые тенденции 930

Точка зрения

А. А. Кокошин, Э. А. Кокошина

Процессы глобализации и деглобализации в условиях нарастающего противостояния США и КНР и интересы России 942

Из рабочей тетради исследователя

В. П. Якушев, В. В. Якушев, С. Ю. Блохина, Ю. И. Блохин, Д. А. Матвеевко

Роль дистанционного зондирования Земли в точном земледелии 955

За рубежом

Ф. О. Трунов

Глобализация деятельности НАТО: нереализовавшиеся и перспективные сценарии 970

К 300-летию Российской академии наук

С. П. Прохоров

Основополагающий вклад Академии наук СССР в становление компьютерных наук и компьютерных технологий 980

История академических учреждений

Т. Ю. Феклова

“Обязаны своим началом академии”. Магнитно-метеорологические обсерватории на Дальнем Востоке в XIX в. 989

Этюды об учёных

В. А. Китов

Пионер информатики и кибернетики
К 100-летию со дня рождения академика В.М. Глушкова 996

В. Г. Зелевинский

“Моя профессия – теоретическая физика”
К 100-летию со дня рождения академика С.Т. Беляева 1006

CONTENTS

Vol. 93, No. 10, 2023

From the Rostrum of the RAS Presidium

- E. N. Kablov, V. V. Antipov*
The Role of New Generation Materials in Ensuring Technological Sovereignty
of the Russian Federation 907
- E. R. Badamshina, E. S. Gornev*
Ways to Achieve Technological Independence in the Field of Materials
for Microelectronics 917
-

Science and Society

- S. V. Kabyshev*
Legal Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation 923
-

Problems of Ecology

- V. I. Danilov-Danilyan, V. M. Kattsov, B. N. Porfiriev*
Ecology and Climate: Where We Are Now and Where We Will Be
in Two or Three Decades. *Global Trends* 930
-

Point of view

- A. A. Kokoshin, Z. A. Kokoshina*
Processes of Globalization and Deglobalization in the Conditions of Growing
Confrontation between the USA and China and Russia's Interests 942
-

From the researcher's notebook

- V. P. Yakushev, V. V. Yakushev, S. Yu. Blokhina, Yu. I. Blokhin, D. A. Matveenko*
The Role of Remote Sensing of the Earth in Precision Agriculture 955
-

Abroad

- F. O. Trunov*
Globalization of NATO Activities: Unrealized and Prospective Scenarios 970
-

To the 300th Anniversary of the Russian Academy of Sciences

- S. P. Prokhorov*
Fundamental Contribution of the Academy of Sciences to the Formation
of Computer Science and Computer Technology 980
-

History of Academic Institutions

- T. Yu. Feklova*
“Owe their beginning to the Academy”. Magnetic and meteorological observatories
in the Far East in the XIX century 989
-

Profiles

- V. A. Kitov*
Pioneer of informatics and cybernetics
On the 100th Anniversary of the Birth of Academician V.M. Glushkov 996
- V. G. Zelevinsky*
“My Profession – Theoretical Physics”
To the 100th anniversary of the birth of Academician S.T. Belyaev 1006
-
-

РОЛЬ МАТЕРИАЛОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2023 г. Е. Н. Каблов^{а,*}, В. В. Антипов^{б,**}

^аРоссийская академия наук, Москва, Россия

^бФедеральное государственное унитарное предприятие “Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов” Национального исследовательского центра “Курчатовский институт”, Москва, Россия

*E-mail: enkablov@pran.ru

**E-mail: admin@viam.ru

Поступила в редакцию 08.08.2023 г.

После доработки 18.08.2023 г.

Принята к публикации 28.08.2023 г.

Создание материалов нового поколения, разработка и внедрение импортозамещающих технологий – один из локомотивов технологического развития России в условиях перехода страны к шестому технологическому укладу. С целью формирования опережающего научно-технического задела необходимо на основе неразрывно связанных между собой фундаментальных и поисковых исследований реализовывать базовые принципы материаловедения применительно к сложным техническим системам. При этом многоуровневое математическое моделирование материалов на нано-, микро-, мезо- и макроуровнях должно сочетаться с прикладными и технологическими разработками, а затем их внедрением предприятиями реального сектора экономики. В создании новых материалов (с учётом полного жизненного цикла) и комплексных систем их защиты важна роль цифровых технологий. В статье предложены ключевые научные направления для реализации мероприятий раздела “Специальная химия и материалы” Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период с 2021 по 2030 год.

Ключевые слова: материалы нового поколения, технология, импортозамещение, фундаментальные исследования.

DOI: 10.31857/S0869587323100055, EDN: XLHBR5

В новых геополитических условиях, при беспрецедентном внешнем давлении, санкционной



КАБЛОВ Евгений Николаевич – академик РАН, заместитель президента РАН. АНТИПОВ Владислав Валерьевич – доктор технических наук, заместитель генерального директора по науке НИЦ “Курчатовский институт” – ВИАМ.

блокаде и резком ограничении доступа к передовым зарубежным научным знаниям, технологиям, оборудованию и программному обеспечению Россия столкнулась с необходимостью решения комплекса стратегических, социально-экономических и оборонных задач по импортозамещению иностранной продукции, обеспечению научного и технологического суверенитета и, как результат, вхождению в шестой технологический уклад на основе сугубо собственных технологий и реализации крупных инновационных проектов полного цикла. Эти задачи были сформулированы Президентом Российской Федерации В.В. Путиным на заседании Президиума Государственного Совета, на котором обсуждался вопрос “О развитии промышленности Российской Федерации в условиях санкционного давления”. Без их реализации уже в среднесрочной перспективе Россия может вступить в затяжной экономический и технологический кризис [1].

Особо следует выделить два критически важных направления технологий, которые непосредственным образом влияют на развитие всех сфер промышленности: создание электронной компонентной базы и новых материалов — от выпуска исходных химических компонентов широкой номенклатуры до полуфабрикатов и готовых изделий. Оба эти направления требуют консолидации научного сообщества и воссоздания цепочки — от идеи до внедрения, то есть от глубоких фундаментальных знаний, генерируемых институтами РАН, поисковых и прикладных исследований, проводимых государственными научными центрами и отраслевыми институтами, до воплощения передовых разработок предприятиями реального сектора экономики. Мы остановимся на втором из этих направлений.

Современный уровень материаловедения характеризуется многоуровневым подходом к исследованиям и разработкам: моделирование материала на нано-, микро-, мезо- и макроуровнях, исследование механизмов поведения элементарных образцов с валидацией результатов для элементов конструкций и изделий. Применяются технологии и атомного масштаба, с использованием которых можно собирать элементы систем из отдельных атомов или молекул, в связи с чем требуется разработка новых физических принципов и подходов, новых экспериментальных методов и метрологического обеспечения. Такие исследования невозможны без применения компьютерного конструирования состава материалов и математических моделей их производства. Цифровые технологии служат одной из основ многоуровневого подхода к разработке материалов и технологий нового поколения на базе единой цепочки “материал—технология—конструкция—высокотехнологичное автоматизированное оборудование” [2].

По инициативе ВИАМ в 2011 г. с учётом приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, мировых тенденций в материаловедении, стратегии инновационного развития интегрированных структур были разработаны “Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года”. В подготовке этого документа принимали участие свыше 80 научно-исследовательских и конструкторских организаций, в том числе институты РАН. В декабре 2011 г. он был одобрен научно-техническим советом Военно-промышленной комиссии Российской Федерации, а в 2017 г. актуализирован в соответствии со Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации и в марте 2021 г. утверждён тем же научно-техническим советом [3].

В документе заложены базовые принципы создания материалов нового поколения для сложных технических систем, включающие:

- фундаментальные и поисковые исследования с широким применением многоуровневого математического моделирования материалов для подготовки опережающего научно-технического задела;
- “зелёные” технологии при создании материалов и комплексных систем их защиты;
- реализацию полного жизненного цикла с использованием цифровых технологий (создание материала — эксплуатация в конструкции — диагностика, ремонт, продление ресурса — утилизация);
- неразрывность цепочки “материал—технология—конструкция—высокотехнологичное автоматизированное оборудование”.

В настоящее время наибольшее внимание следует уделить таким направлениям, как разработка основ синтеза новых органических, элементоорганических, неорганических и полимерных веществ, что в дальнейшем может позволить российской химической отрасли отказаться от значительной части импортных компонентов; разработка новых ресурсо- и энергосберегающих металлургических и химико-технологических процессов, что будет способствовать повышению конкурентоспособности продукции отечественных металлургического и химического комплексов на мировом рынке; аддитивные технологии, играющие ключевую роль в совершенствовании технологического процесса изготовления деталей сложных технических систем.

Аддитивные технологии, которые с полным основанием можно отнести к технологиям XXI века, позволяют с минимальными затратами посредством прямого синтеза (добавления) материала создавать детали высокого качества, которые невозможно изготовить с применением традиционных, “вычитающих” технологий: литьём, механической обработкой и т.д. Аддитивные технологии имеют огромный потенциал возможностей снижения энергетических затрат при создании разнообразных видов продукции. Сегодня уже очевидно, что показатель интенсивности использования таких передовых технологий может служить одним из индикаторов индустриального и инновационного развития страны [4, 5].

Важнейшее направление технологического развития — создание полимерных композиционных материалов (ПКМ) нового поколения. Для этого необходимы новые высокопрочные высококомодульные наполнители, в первую очередь углеродное волокно. Следует отметить, что в настоящее время в России отсутствуют не только производство среднемодульных углеродных волокон, аналогичных по свойствам высококачественному, лёгкому и прочному, устойчивому к коррозии и усталости композиту Т-800, но и мощности полного цикла производства полиакрилонитрилового волокна, качество которого опре-

деляет свойства углеродных волокон. При этом развитие отрасли ПКМ напрямую зависит от достижений химической отрасли. Крайне необходимо создать компоненты полимерных матриц — олигомеров, каталитических систем, отвечающих высоким требованиям не только по свойствам, но и по экологичности получения. В современных условиях технологический прорыв связан прежде всего с интенсивной разработкой и широким применением принципов “зелёной” химии и молекулярного дизайна, созданием технологий атомно-молекулярного конструирования при получении новых соединений.

НИЦ “Курчатовский институт” — ВИАМ¹, являясь ведущей организацией в России по разработке и общей квалификации материалов нового поколения и технологий их переработки для авиационного двигателестроения, реализует такой комплексный подход, выполняя, в том числе по заданию предприятий АО “Объединённая двигателестроительная корпорация”, ключевые НИОКР, направленные на создание конструктивных высокотемпературных металлических, интерметаллидных, полимерных композиционных, керамических, функциональных материалов нового поколения и технологий их изготовления для перспективных и модернизируемых авиационных двигателей гражданского и двойного назначения: ПД-8, ПД-14, ПД-35, ВК-650В, ВК-1600В, ТВ7-117СТ. В этой связи напомним, что в июне 2008 г. по инициативе Министерства промышленности и торговли РФ, АО “ОДК-Авиадвигатель” и ВИАМ Председателем Правительства Российской Федерации В.В. Путиным было принято решение о создании семейства газотурбинных двигателей гражданской авиации на базе унифицированного газогенератора и разработке первого за последние три десятилетия отечественного двигателя для гражданской авиации с тягой 14–16 т.

Создание конкурентоспособного газотурбинного двигателя (ГТД) было бы невозможно без применения в его конструкции материалов и технологий нового поколения. В двигателе пятого поколения ПД-14 используются более 20 новых материалов, разработанных в НИЦ “Курчатовский институт” — ВИАМ в рамках федеральной целевой программы “Развитие гражданской авиационной техники России на 2002–2010 годы и на период до 2015 года”, и более 50 доработанных серийных марок материалов: супержаропрочный монокристаллический сплав ВЖМ4 для лопаток турбины высокого давления, интерметаллидный сплав ВКНА-1В для сопловых лопаток, высокопрочная мартенситостареющая сталь

для валов турбины низкого давления, жаростойкие и теплозащитные покрытия, полимерные композиционные материалы нового поколения — углепластики ВКУ39/ВтКУ-2.200, ВКУ29/ВтКУ-3, ВКУ25/SYT-49С, стеклопластик ВПС-48/778.

На основе научно-технического задела в области жаропрочных и жаростойких сплавов и сталей, алюминидовых и титановых сплавов разработаны технологии изготовления полуфабрикатов с обеспечением высокой чистоты по примесям благодаря специальным методам раскисления, в том числе с использованием редкоземельных металлов (РЗМ) — иттрия, лантана. Генеральным конструктором АО “ОДК-Авиадвигатель” академиком РАН А.А. Иноземцевым в рамках единого меморандума о закупке материалов и полуфабрикатов для обеспечения серийного производства двигателей семейства ПД-14 была организована кооперация поставщиков заготовок и полуфабрикатов в интересах их серийного производства на предприятиях авиационной отрасли.

В свою очередь, в НИЦ “Курчатовский институт” — ВИАМ в рамках указанного меморандума организовано малотоннажное производство литой прутковой шихтовой заготовки для лопаток турбины двигателя ПД-14 и катодов для нанесения покрытий. Впервые в отечественной инженерной и технологической практике сконструирована и изготовлена из полимерных композиционных материалов мотогондола двигателя ПД-14. Для её угле- и стеклопластиковых деталей и агрегатов созданы клеевые препреги КМКС-2м.120.Т60.37, КМКС-2м.120.Т60.55, КМКС-2м.120.Т10.37 и КМКС-2м.120.Т10.55, которые по характеристикам не уступают лучшим мировым аналогам и также выпускаются в условиях малотоннажного производства.

Кроме того, методом аддитивных технологий из отечественной металлопорошковой композиции в НИЦ “Курчатовский институт” — ВИАМ была изготовлена первая “боевая” деталь двигателя ПД-14 — завихритель фронтального устройства кольцевой камеры сгорания, полностью отвечающая требованиям конструкторской документации (рис. 1). Технологический цикл производства этих деталей составил всего шесть дней при стопроцентном выходе годных, тогда как традиционный технологический цикл — литьё по выплавляемым моделям — составляет 60 дней при выходе годных 40%.

С 2017 г. НИЦ “Курчатовский институт” — ВИАМ по заданию АО “ОДК-Авиадвигатель” выполняет НИОКР по 18 критическим технологиям для создания перспективного двигателя большей тяги ПД-35. В институте разработано 14 наименований материалов нового поколения и более 30 технологий изготовления крупногабаритных полуфабрикатов, технологий нанесения защитных и функциональных покрытий. Так, для

¹ В 2021 г. Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов вошёл в состав Национального исследовательского центра “Курчатовский институт”. (Прим. ред.)



Рис. 1. Завихритель фронтального устройства камеры сгорания двигателя ПД-14, изготовленный методом аддитивных технологий

рабочих лопаток двигателя разработан никелевый рений-рутениеосодержащий сплав, длительно работоспособный при температуре 1200°C с забросом до 1250°C, а также впервые в Российской Федерации взамен жаропрочных никелевых сплавов для двукратного снижения массы лопаток разработан интерметаллидный титановый сплав и технология литья лопаток восьмой ступени с рабочей температурой до 750°C.

Для обеспечения возможности применения жаропрочных никелевых сплавов в составе газотурбинного двигателя в институте разработаны два варианта теплозащитных покрытий, дополнительно стабилизированных оксидами РЗМ (иттрий, гадолиний, иттербий) с уникальными высокотемпературными металлическими соединительными слоями, обеспечивающими работоспособность поверхности сплава при температурах 1350°C с забросами до 1450°C. Подтверждена работоспособность покрытий при термоциклическом нагружении до 1350°C в условиях стенда АО «ОДК-Авиадвигатель», обеспечившая их стойкость на протяжении 5000 циклов.

Возрастающий интерес в последние годы вызывает переход от металлических к полимерным композиционным материалам при изготовлении деталей авиационной техники. Производство ответственных деталей двигателя ПД-35, в том числе лопаток вентиляторов, из ПКМ крайне перспективно для снижения массы конструкции, обеспечения высокой прочности при воздействии ударных нагрузок, например попадания птиц. В ПД-35 будут применены углепластиковые лопатки вентилятора, что обеспечит снижение массы вентилятора на 30%.

Расширение возможностей аддитивного производства позволило разработать пять уникальных, не имеющих аналогов в мире материалов из жаропрочных никелевых и титановых сплавов, применимых в изготовлении 90 наименований

деталей камеры сгорания, компрессора, турбины высокого и низкого давления; изготовить и поставить более 2000 топологически оптимизированных деталей.

Для замены зарубежных материалов в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ создан научно-производственный комплекс, специализирующийся на серийном производстве литой прутковой заготовки из жаропрочных сплавов на никелевой основе. Мощность комплекса (до 530 т в год) позволяет поставлять эту заготовку ведущим авиационным моторостроительным предприятиям для изготовления рабочих, сопловых лопаток турбин газотурбинного двигателя, а также других литых деталей.

С целью импортозамещения французского двигателя SaM-146 авиалайнера Sukhoi Superjet 100 и двигателя Д-436ТП самолёта-амфибии Бе-200 на основании поручения Президента Российской Федерации в 2018 году АО «ОДК» поставлена задача разработать авиационный двигатель ПД-8 с тягой 8 т. В рамках данного проекта в беспрецедентно короткие сроки в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ разработаны и паспортизованы пять новых литейных жаропрочных сплавов – ВЖМ12, ВЖМ200, ВЖЛ125, ВЖЛ718, ВЖЛ220 (в качестве замены зарубежных сплавов AM1, DS200Hf, Rene 125, In718 и Rene 220 соответственно), а также деформируемые сплавы ВЖ718 и ВЖ180 и технологии их производства – для статорных корпусных деталей турбины и опоры двигателя. Новые сплавы превосходят по механическим и эксплуатационным свойствам зарубежные аналоги. Они используются в двигателе ПД-8 в качестве материалов рабочих и сопловых лопаток с монокристаллической, направленной и равноосной структурами и по совокупности механических свойств, технологичности (в том числе благодаря раскислению редкоземельными металлами) не имеют отечественных аналогов, обладают преимуществами перед зарубежными аналогами по пределам длительной прочности при температурах 900–1100°C и ограниченной выносливости.

Помимо аналогов зарубежных жаропрочных никелевых сплавов, выпускаемых научно-производственным комплексом для изготовления литой прутковой заготовки, в институте производится более 20 марок жаропрочных сплавов, в том числе новые высоколегированные рений-рутениеосодержащие сплавы ВЖМ4-ВИ, ВЖМ5-ВИ, ВЖМ6-ВИ, ВЖМ8-ВИ, интерметаллидные сплавы на основе соединения Ni₃Al серии ВКНА (ВКНА-1В-ВИ, ВКНА-1ВР-ВИ, ВКНА-4У-ВИ, ВКНА25-ВИ, ВИН4-ВИ), используемые в отечественных двигателях.

Благодаря разработанным в институте технологиям выплавки, а также современному высоко-

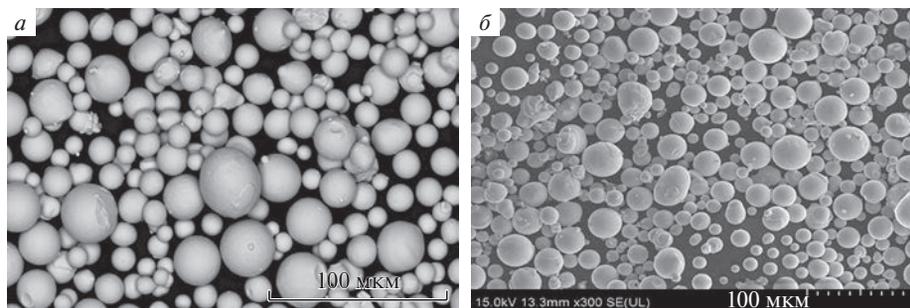


Рис. 2. Металлопорошковая композиция Metco 68F-NS-1 производства OC Oerlikon Corporation AG (а) и металлопорошковая композиция Co–Mo–Cr производства НИЦ “Курчатовский институт” – ВИАМ (б)

технологичному оборудованию, обладающему системой поддержания температуры расплава и определения содержания в нём кислорода в ходе плавки, стало возможным получать сплавы (в том числе с использованием 100% литейных отходов), полностью соответствующие по химическому составу и механическим свойствам требованиям нормативной документации.

Одна из важнейших задач в достижении технологического суверенитета России, касающихся производства и обслуживания газовых турбин, состоит в импортозамещении металлопорошковых композиций для нанесения покрытий и пайки. Локализация производства и ремонта энергетических газотурбинных установок (ГТУ) большой мощности упрощается благодаря тому, что у российских сервисных предприятий и сопровождающих их профильных научно-исследовательских институтов в наличии практически полный перечень материалов и технологий, допущенных разработчиком к использованию при изготовлении ГТУ.

В НИЦ “Курчатовский институт” – ВИАМ сформирован специализированный научно-производственный комплекс по разработке опытных и серийных технологий изготовления металлических порошков, представленный тремя атомайзерами для производства металлопорошковых композиций на основе никеля, кобальта, железа, меди, алюминия и титана. В настоящее время выпускается свыше 64 марок металлических порошков для аддитивных технологий, высокотемпературной пайки и нанесения высокотемпературных защитных покрытий, в том числе 12 аналогов зарубежных сплавов, применяемых в энергетической отрасли (рис. 2).

Кроме того, в институте освоено производство керамических материалов для нанесения защитных покрытий. Необходимо отметить, что замена иностранных материалов на производимые в России не полные аналоги ведёт к необходимости проведения полного цикла дорогостоящих ресурсных испытаний ГТУ. Например, керамические порошки Sicoat3479, предусмотренные зарубежной конструкторской и ремонтной докумен-

тацией, получают в результате реализации сложной многостадийной технологии на базе метода “agglomerated–sintered”, включающей сфероидизацию и агломерирование методом распылительной сушки с последующим спеканием. В России полные аналоги порошков Sicoat3479 не производятся, а наиболее близкие по химическому составу порошки (HOSP и др., получаемые методом распылительной сушки без спекания) отличаются по механической прочности и/или насыпной плотности, что критически влияет на качество наносимых покрытий.

В настоящее время только в НИЦ “Курчатовский институт” – ВИАМ имеется полный комплекс опытно-промышленного оборудования для реализации метода “agglomerated–sintered”. Совместно с ООО “СТГТ” и ПАО “Интер РАО” ведутся работы по полному импортозамещению зарубежных материалов для минимизации затрат на проведение испытаний ГТУ.

Всё больший интерес в настоящее время вызывает также получение импортозамещающих материалов для изготовления прецизионных деталей, таких как подшипники малых размеров – от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. За рубежом для таких изделий разработан новый класс коррозионностойких мартенситных сталей со сверхравновесным содержанием азота, обладающих высокой коррозионной стойкостью при сохранении уровня прочностных свойств, – например, сталь марки Cronidur-30, имеющая твёрдость не ниже 58 HRC с равномерно распределёнными в микроструктуре частицами карбонитридов размером до 10 мкм.

Изготовление высокопрочных сталей со сверхравновесным содержанием азота требует специальных методов выплавки и рафинирующего переplava, в частности в печах электрошлакового переplava под избыточным давлением азота, позволяющих получать слитки с плотной беспористой и дисперсной макроструктурой. Поскольку предельная равновесная растворимость азота в высокопрочных коррозионностойких сталях мартенситного класса при атмосферном давлении не превышает 0.10%, НИЦ “Курчатовский

Таблица 1. Механические свойства сталей ВНС78, 95X18, Cronidur-30

Сталь	σ_B , МПа	Твёрдость, HRC	Максимальный размер включений, мкм
Отечественные материалы			
95X18	2100	≥ 58	20
ВНС-78	2150–2250	≥ 58	3
Зарубежные материалы			
440C (США)	2030	59	63
Cronidur30 (Германия)	2150	≥ 58	10
XD15NW (Франция)	2320	59	10

институт” – ВИАМ приобретена печь электрошлакового переплава под давлением ДЭШП-0.1, разработанная специально по техническому заданию института и позволившая выплавлять различные стали, в том числе со сверхравновесным содержанием азота более 0.2% под избыточным давлением до 30 атм. [6].

Благодаря созданной технологии электрошлакового переплава под давлением в институте разработаны состав и технология изготовления прутков из новой коррозионностойкой износостойкой стали мартенситного класса 30X15AMФ (ВНС78) со сверхравновесным содержанием азота 0.3%, являющейся аналогом стали Cronidur-30. Сталь ВНС78 имеет высокую (не ниже 58 HRC) твёрдость и микроструктуру, состоящую из равномерно распределённых частиц карбонитридов размером не более 3 мкм, и рекомендуется для применения в деталях трения и деталях, работающих на износ: подшипники, в том числе прецизионные; режущие инструменты; свёрла [7–9]. В таблице 1 представлены сравнительные свойства сталей для подшипников ВНС78, серийной стали 95X18 и Cronidur-30.

Специалистами НИЦ “Курчатовский институт” – ВИАМ накоплен уникальный опыт разработки термостабильных постоянных магнитов системы РЗМ–ПМ–В и налажено мелкосерийное производство, включающее полный цикл изготовления постоянного магнита – от выплавки сплава до конечного изделия. Институт является единственным в России производителем термостабильных кольцевых магнитов с радиальной текстурой системы Pr–Dy–Fe–Co–В.

Разработка нового термостабильного магнитотвёрдого материала и технологии изготовления из него цельных кольцевых магнитов с радиальной текстурой позволила повысить технологичность производства и точностные характеристики динамически настраиваемых гироскопов [10]. Однако следует учитывать, что применяемые в настоящее время для изготовления постоянных магнитов редкоземельные металлы производятся в основном в КНР и имеют высокую стоимость.

Для снижения сырьевой зависимости и в связи с нарастающей потребностью отрасли приборостроения в кольцевых магнитах с радиальной текстурой НИЦ “Курчатовский институт” – ВИАМ совместно с АО “Всероссийский НИИ химических технологий” ГК “Росатом” разработана технология получения редкоземельных металлов высокой чистоты (массовая доля основного РЗМ – не менее 99%) из российского сырья.

Предложенные технологии получения фторидов из оксидов редкоземельных элементов, кальциетермического восстановления фторидов редкоземельных элементов и рафинирующего переплава в вакуумной дуговой печи позволили впервые в России решить вопрос получения таких редкоземельных металлов, как празеодим, диспрозий, тербий, и тем самым снижения сырьевой зависимости от Китая (рис. 3).

Сегодня также требуют решения принципиально важные проблемы в области химических компонентов и веществ. Несмотря на весомый объём финансирования работ, множество критически значимых для технологического суверенитета Российской Федерации химических компонентов и веществ до сих пор отсутствуют в должном количестве. По наиболее острым проблемам, таким как производство термопластичных материалов, высокотемпературных ПКМ, клеев, герметиков, для которых в подавляющем большинстве случаев основная компонентная база закупается за рубежом.

Отечественные предприятия активно работают над внедрением полимерных композиционных материалов на основе полиэфирэфиркетонов, при этом предлагаемые углеродные наполнители (взамен волокон типа Т300 и Т700) изготавливаются из полиакрилонитрила китайского производства.

Разработка и получение теплонагруженных деталей нового поколения, изготовление новых оболочек тепловыделяющих элементов ядерных реакторов невозможны без организации производства текстильно-перерабатываемых непре-



Рис. 3. Редкоземельные магниты высокой чистоты из российского сырья: Tb (а), Pr (б), Dy (в)

рывных бескверных волокон карбида кремния со свойствами на уровне волокон третьего поколения марки Hi-Nicalon S производства японской фирмы Nippon-Carbon, а также исходных компонентов высокой чистоты для их производства – полидиметилсилана и поликарбосилана, однако мероприятия по выпуску этих компонентов в настоящий момент не предусмотрены.

Для термопластичных порошковых композиций на основе ПА-12, занимающих 90% мирового рынка материалов для аддитивной технологии селективного лазерного спекания, нет отечественных компонентов (ω -доделактам выпускается странами ЕС), в которых крайне заинтересованы предприятия, входящие в структуры АО «Вертолёты России», АО «Корпорация «Московский институт теплотехники»». Отсутствуют компоненты для крайне важных материалов на основе высокотемпературных терморезактивных связующих и клеев (полиимидное, бисмалеимидное, бензоксазиновое и др.) для предприятий АО «Объединённая двигателестроительная корпорация», ГК «Роскосмос», АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»». Отсутствие производств этих компонентов влечёт за собой невозможность устранения технологического отставания России в области высокотемпературных полимерных композиционных материалов, критически важных для производства перспективной гражданской и военной техники.

Следует также отметить, что при столь огромном потреблении эпоксидных смол (только за 2018 г. в первичной форме – 4.5 тыс. т, в виде простых эфиров и их производных – 1.26 млн т) в России до сих пор не налажено собственное производство эпихлоргидрина – критически важного компонента для их получения.

В НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ в инициативном порядке подготовлен перечень химических соединений (компонентов), критически значимых с точки зрения обеспечения технологической независимости Российской Федерации. С целью формирования и ускоренного развития столь важных направлений необходимо полностью пересмотреть подход к решению вопросов развития химической промышленности с учётом реальных потребностей гражданских и

оборонных отраслей России. В разработанной при участии института актуализированной редакции паспорта продуктового направления перечень критически важных химических компонентов уже включён в стратегический сценарий для дальнейшей проработки.

В настоящее время в Российской Федерации на государственном уровне оказывается поддержка развитию производства композиционных материалов и изделий из них [11–15]. Обеспечение технологического суверенитета нашей страны в части разработки и производства полимерных композиционных материалов невозможно без организации серийного выпуска отечественных стеклянных, углеродных и арамидных наполнителей. Так, производство востребованных в аэрокосмической отрасли препрегов на основе кварцевой ткани ТС 8/3 возможно только при условии наработки кварцевого волокна. Производственной мощности АО «НПО «Стеклопластик» – единственного в РФ предприятия, выпускающего кварцевые волокна и ткань на их основе, недостаточно для обеспечения необходимых объёмов рынка, в связи с чем в стране возник дефицит упомянутых компонентов.

Армирование полимеров углеродными волокнами позволило создать принципиально новый класс полимерных конструкционных материалов – углепластиков. Они отличаются от традиционных конструкционных материалов сочетанием таких свойств, как высокие удельные прочность и жёсткость, низкие коэффициенты линейного теплового расширения и трения, высокие износостойкость и устойчивость к воздействию агрессивных сред, термическому и радиационному ударам, повышенная теплопроводность и электрофизические свойства, изменяющиеся в широких пределах, высокое сопротивление усталости при статических и динамических нагрузках. По удельным показателям прочности и жёсткости углепластики превосходят практически все наиболее широко используемые полимерные конструкционные и металлические материалы [16–18]. Для обеспечения требуемого уровня приведённых характеристик в конструкциях сложных технических систем необходимы углеродные волокна различных классов (Т-300, Т-700, Т-800, Т-1000)

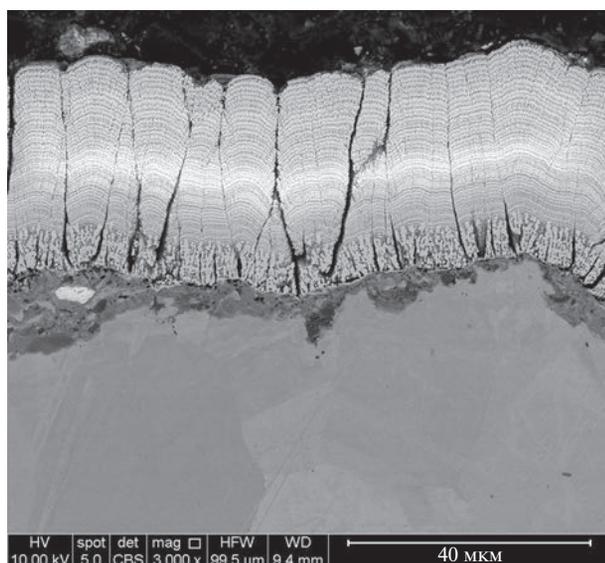


Рис. 4. Конденсированный керамический слой $\text{Sm}_2\text{O}_3\text{--Y}_2\text{O}_3\text{--HfO}_2$

с высокой стабильностью и однородностью свойств. В результате санкционной политики в отношении России в 2016–2018 гг. полностью прекращены поставки углеродных наполнителей производства США, Японии и стран ЕС. Отечественные углеродные волокна классов Т-300 (UMT42S-3К) и Т-700 (UMT49S-12К) выпускает ООО «Алабуга-Волокно».

Параарамидные волокна служат ключевым компонентом для изготовления органопластиков конструкционного и баллистического назначения [19]. В настоящее время при их изготовлении используются компоненты импортного производства: парафенилендиамин, хлорпарафенилендиамин, растворитель диметилацетамид. Для изготовления композиционных трёхслойных панелей в отрасли применяются соты на основе арамидной бумаги, основным компонентом которой являются метаарамидные волокна. Производство метаарамидных волокон и бумаги на их основе в России отсутствует.

Развитие современного материаловедения невозможно без разработки керамических композиционных материалов нового поколения с высокими значениями прочности, твёрдости, коррозионной и эрозионной стойкости в совокупности с длительным жизненным циклом в условиях высокотемпературного окисления для изготовления теплонагруженных элементов конструкций перспективных изделий авиационной и ракетно-космической техники. (Такие зарубежные компании и международные корпорации, как General Electric, Safran, NASA и другие, активно внедряют керамические композиционные материалы в конструкцию летательных аппаратов.) Дальнейшая разработка и внедрение изделий из высоко-

температурных материалов оказываются одним из важных факторов обеспечения импортонезависимости и технологического суверенитета России.

В части передовых исследований НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ совместно с Санкт-Петербургским государственным университетом и Институтом химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН ведутся работы в области высокотемпературных теплозащитных покрытий. Керамические материалы на основе оксидов РЗМ используются в качестве перспективных термобарьерных слоёв теплозащитных покрытий. За рубежом идёт интенсивное освоение промышленного производства новых керамических материалов для такого рода покрытий. Например, ведущим мировым производителем порошков для газотермического напыления Oerlicon metco освоено промышленное производство новейших керамических порошков Metco206A системы Zr–Y–Yb–Gd–O, Metco6042 системы Gd–Zr–O, Metco205NS системы Zr–Ce–Y–O с уникальными характеристиками по максимальной рабочей температуре до 1500°C. НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ совместно с указанными исполнителями реализует широкий спектр исследований в области новых керамических материалов для высокотемпературных теплозащитных покрытий на рабочие температуры до 1450–1500°C. Проведены поисковые исследования по определению основных теплофизических характеристик широкой гаммы керамических материалов различных систем, введена характеристическая функция физико-химических свойств керамического слоя теплозащитного покрытия (рис. 4).

По результатам исследований установлены закономерности изменения теплофизических свойств керамических материалов, которые будут использованы для постановки фундаментально ориентированных прикладных НИР с целью разработки современных теплозащитных покрытий и материалов для их нанесения. Однако несмотря на достигнутые успехи в прикладных разработках и их успешном внедрении в производство, крайне необходимо сформировать опережающий научно-технический задел, востребованный отечественной экономикой. Без фундаментальных и поисковых исследований в области материаловедения невозможно создать новое поколение материалов с недостижимыми в настоящее время характеристиками, как невозможно строить дом, не возведя фундамент.

Научному сообществу (в первую очередь институтам Российской академии наук, НИЦ «Курчатовский институт», университетам) для создания российских аналогов материалов и химических компонентов, по которым отсутствует

научно-технический задел, необходимо в рамках государственно-частного партнёрства провести целый комплекс фундаментальных и поисковых научных исследований с целью достижения в среднесрочной перспективе технологической независимости Российской Федерации. Для этого важно предусмотреть реализацию в рамках Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 годы) мероприятий раздела “Специальная химия и материалы” по следующим направлениям.

1. *Создание теоретических основ формирования структурно-фазового состояния тугоплавких металлических, высокотемпературных металлокерамических, керамических и полимерных материалов нового поколения, синтезируемых на базе аддитивного производства.* Основные усилия следует направить на исследование: влияния дисперсности и распределения оксидной упрочняющей фазы в матрице на механические свойства сформированного объёмного дисперсно-упрочнённого материала и металлокерамических материалов; процессов усвоения азота при комплексной триплекстехнологии (выплавка/распыление/последный синтез) применительно к созданию высокопрочных коррозионностойких азотистых сталей (для металлических и металлокерамических материалов); закономерностей структурно-фазовых превращений в стеклокерамических и керамических материалах, синтезированных с применением технологии лазерной стереолитографии, при воздействии высоких температур; влияния химического и гранулометрического состава керамических паст на их реологические свойства, процессы фотополимеризации, спекания, структуро- и фазообразования (для керамических материалов); влияния состава, типа, размера, химической природы наполнителей полимерных матриц на комплекс свойств синтезированных материалов; влияния химической структуры ароматических полиамидных, а также полифениленсульфидных сополимеров на величину окна лазерного спекания (для полимерных материалов).

2. *Создание научных основ химической технологии и разработка методов направленного органического синтеза, обеспечивающего получение веществ и материалов с заданными свойствами, в том числе гибридных материалов.* Необходимо провести исследования закономерностей влияния режимов переработки, химической структуры термопластичных связующих и аппретов, жидкокристаллических полимеров, ароматических полиамидных, а также полифениленсульфидных сополимеров на механические и теплофизические свойства ПКМ; разработать математические модели (по принципу организации биологической нейронной сети) рецептуростроения функциональных материалов; изучить кинетические и

термодинамические параметры синтеза функционализированных полимеров, установить их совместимость с термостабилизирующими добавками с целью повышения теплостойкости эластомерных материалов.

3. *Создание теоретических основ химико-технологических процессов получения сверхвысокотемпературных высокопрочных полимерных композиционных материалов нового поколения на основе лестничных полимеров с повышенной стойкостью к термоокислительной деструкции.* Практическая реализация полученных знаний по данному направлению будет заключаться в разработке сверхвысокотемпературных высокопрочных полимерных композиционных материалов нового поколения с рабочими температурами эксплуатации до 450°C, повышенными не менее чем на 20% физико-механическими характеристиками и, как следствие, в создании элементов конструкций летательных аппаратов, находящихся в зоне теплового воздействия, в частности для сверхзвукового гражданского самолёта второго поколения.

4. *Установление научных основ синергетического воздействия природных и техногенных факторов на материалы для сложных технических систем.* В результате реализации исследований по данному направлению возможны формирование научных основ выявления генетической предрасположенности микроорганизмов к деструкции материалов; разработка системного подхода к созданию единой методологической базы изучения сохраняемости свойств материалов, в том числе в составе конструкций при воздействии комплекса природных и техногенных факторов; создание научно обоснованных подходов к разработке систем защиты материалов, в том числе с возможностью селективного воздействия на организмы-биодеструкторы и разработка концепции базы данных генетических особенностей организмов-биодеструкторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стенограмма заседания Президиума Государственного Совета 4 апреля 2023 года. <http://krem-lin.ru/events/president/news/70860> (дата обращения 07.07.2023).
2. Каблов Е.Н. Роль фундаментальных исследований при создании материалов нового поколения // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тез. докл. В 6 т. Т. 2а. С. 24. СПб., 2019.
3. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. № 2 (14). С. 16–21.
4. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения и цифровые технологии их переработки // Вестник РАН. 2020. № 4. С. 331–334.

5. *Каблов Е.Н.* Российская наука – источник знаний и технологий для шестого технологического уклада // Поиск. № 36 (1474). 15 сентября 2017 г.
6. *Гулина И.В., Седов О.В., Яковлев Н.О., Гриневич А.В.* Особенности испытания подшипниковой стали // Труды ВИАМ. 2019. № 10 (82). Ст. 07. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2019-0-10-76-83>. <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 04.11.2019).
7. *Коросташевский Р.В., Зайцев А.М.* Авиационные подшипники качения. М.: Оборонгиз, 1963.
8. *Червяков И.В., Киселёва С.А., Рыльникова А.Г.* Металлографическое определение включений в стали. М.: Металлургиздат, 1962.
9. *Приборные шариковые подшипники: справочник / Под ред. К.Н. Явленского, В.Н. Нарышкина, Е.Е. Чаадаевой.* М.: Машиностроение, 1981.
10. *Бузенков А.В., Валеев Р.А., Писковский В.П., Моргунов Р.Б.* Влияние содержания иттрия на свойства спечённых магнитов Nd–Dy–Y–Fe–Co–B // Труды ВИАМ. 2022. № 4 (110). Ст. 11. DOI: (дата обращения 24.07.2023). <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2022-0-4-108-117><http://www.viam-works.ru>
11. *Каблов Е.Н.* Инновационные разработки ФГУП “ВИАМ” ГНЦ РФ по реализации “Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года” // Авиационные материалы и технологии. 2015. № 1 (34). С. 3–33. <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33>
12. *Каблов Е.Н.* Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2015. № 1. С. 36–39.
13. *Сидорина А.И., Гуняева А.Г.* Рынок углеродных волокон и композитов на их основе (обзор) // Химические волокна. 2016. № 4. С. 48–53.
14. *Курносоев А.О., Вавилова М.И., Мельников Д.А.* Технологии производства стеклянных наполнителей и исследование влияния аппретирующего вещества на физико-механические характеристики стеклопластиков // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 1 (50). С. 64–70. <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2018-0-1-64-70>
15. *Каблов Е.Н.* Тенденции и ориентиры инновационного развития России. Сб. науч.-информ. материалов. 3-е изд. М.: ВИАМ, 2015.
16. *Соколов И.И., Раскутин А.Е.* Углепластики и стеклопластики нового поколения // Труды ВИАМ. 2013. № 4. Ст. 09. <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 09.04.2023).
17. *Михайлин Ю.А.* Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. СПб.: Научные основы и технологии, 2015.
18. *Бобович Б.Б.* Полимерные конструкционные материалы (структура, свойства, применение). М.: Формум, 2014.
19. *Кулагина Г.С., Железина Г.Ф., Шульдешова П.М., Куршев Е.В.* Структура и физико-механические свойства органопластика нового поколения на основе ткани из арамидного волокна марки Русар-НТ и расплавленного связующего // Труды ВИАМ. 2022. № 10 (116). Ст. 05. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2022-0-10-55-65>. <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 09.04.2023).

THE ROLE OF NEW GENERATION MATERIALS IN ENSURING THE TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY OF THE RUSSIAN FEDERATION

E. N. Kablov^{1,*} and V. V. Antipov^{2,}**

¹*Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*Federal State Unitary Enterprise “All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials” of National Research Center “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia*

*E-mail: enkablov@pran.ru

**E-mail: admin@viam.ru

The creation of a new generation of materials, the development and implementation of import-substituting technologies is one of the locomotive of Russia’s technological development in the conditions of the country’s transition to the sixth technological order. In order to form an advanced scientific and technical reserve it is necessary to implement the basic principles of material science in relation to complex technical systems on the basis of inextricably linked fundamental and exploratory research. At the same time multilevel mathematical modelling of materials at the nano-, micro-, meso- and macro levels should be combined with applied and technological developments and then their implementation by enterprises of the real sector of the economy. In the creation of new materials (taking in account the full life cycle) and integrated systems for their protection the role of digital technologies is important. The article suggests the key scientific directions for the implementation of the activities of the section “Special Chemistry and Materials” of the Program of Fundamental Scientific Research in the Russian Federation for the long-term period from 2021 to 2030.

Keywords: new generation materials, technology, import substitution, fundamental research.

ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НЕЗАВИСИМОСТИ В ОБЛАСТИ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

© 2023 г. Э. Р. Бадамшина^{а,*}, Е. С. Горнев^{б,**}

^аФедеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, Черноголовка, Россия

^бАО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники», Зеленоград, Россия

*E-mail: badamsh@icp.ac.ru

**E-mail: egornev@niime.ru

Поступила в редакцию 09.08.2023 г.

После доработки 28.08.2023 г.

Принята к публикации 04.09.2023 г.

Укрепление технологического суверенитета — одна из ключевых задач в достижении национальных целей развития Российской Федерации на период до 2030 г. В этой связи чрезвычайную актуальность приобретает разработка и налаживание производства в возможно короткие сроки отечественных материалов широкой номенклатуры, в том числе особо чистых, для нужд микроэлектронной промышленности. Авторами представлены основные проблемы и пути развития производства таких веществ и материалов. Статья подготовлена на основе доклада на заседании президиума РАН, посвящённого роли химии и наук о материалах в обеспечении технологического суверенитета России.

Ключевые слова: материалы для микроэлектроники, высокочистые материалы, интегральные схемы, фотолитография, фоторезисты, антиотражающие покрытия, суспензии, поверхностно-активные вещества, проявители

DOI: 10.31857/S086958732310002X, EDN: ECDWGX

В соответствии с перечнем поручений по итогам заседания Совета по стратегическому развитию и национальным проектам 15 декабря 2022 г. [1], утверждённым Президентом Российской Феде-

рации [2], укрепление технологического суверенитета страны становится одной из ключевых задач, её решению в 2023-м и в последующие годы необходимо уделить особое внимание при реализации мер по достижению национальных целей развития на период до 2030 г. В феврале 2023 г. Президент РФ отметил, что за короткий срок России предстоит создать или вывести на новый уровень собственные критически важные технологии в микроэлектронике, информационных технологиях, промышленности, транспорте, разработке лекарств, новых материалов, а также в других важнейших для страны секторах экономики. При этом распоряжением Правительства Российской Федерации от 17.01.2020 г. № 20-р в разделе 2 «Мероприятия и целевые индикаторы реализации Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации до 2030 г.» было запланировано разработать и промышленно освоить ключевые технологии и производство «материалов для литографии, в том числе фото-, электронно- и рентгенорезистов, проявителей, планаризирующих и антиотражающих покрытий; расходных технологических мате-



БАДАМШИНА Эльмира Рашатовна — доктор химических наук, заместитель директора ФИЦ ПХФ и МХ РАН. ГОРНЕВ Евгений Сергеевич — член-корреспондент РАН, заместитель руководителя приоритетного технологического направления «Электронные технологии», АО «НИИМЭ».

риалов, в том числе кислот, растворителей, травителей...” [3].

Возможность самостоятельного развития отечественной микроэлектронной промышленности напрямую зависит от разработки (включая обязательное проведение научных исследований) и производства всего комплекса материалов, технологического оборудования и систем автоматизированного проектирования для изготовления изделий микроэлектроники с одновременным развитием соответствующих компетенций. В производстве всей номенклатуры полупроводниковых приборов и интегральных схем используется примерно 20 тыс. наименований материалов, из них критичны (от них зависят характеристики изделия) примерно 1000 наименований.

Следует подчеркнуть, что современные технологии микроэлектроники предъявляют особые требования к материалам по их чистоте:

- концентрация металлов, способных создавать в кремнии глубокие энергетические уровни, должна быть менее 10^{-9} относительно основного вещества;

- допустимый уровень загрязнений в точке подачи большинства жидкостей и газов не должен превышать миллиардных долей (ppb – 1×10^{-9}), а по некоторым материалам и триллионных долей (ppt – 1×10^{-12});

- в воздушной среде чистой комнаты должны отсутствовать молекулярные загрязнения: примеси высокомолекулярных групп C_nH_m и NH_3 , примеси летучих гидридов легирующих элементов типа RH_3 или B_2H_6 .

Получение особо чистых материалов напрямую связано со смежными направлениями, включающими разработку и аттестацию методик измерений параметров, материалов для специальной технологической тары и оснастки, производство транспортной и потребительской тары для химических материалов, прекурсоров и газов, создание соответствующей инфраструктуры.

Что касается обеспеченности материалами для микроэлектроники, в частности продуктами специальной жидкой химии (их общее количество для технологий 180–90 нм составляет 45 наименований) и специальными газами (40 наименований), то по состоянию на апрель 2023 г. проблема разработки и освоения производства 31 из 85 материалов для указанных технологий с использованием действующих механизмов финансирования (НИОКР, субсидии) в нашей стране не решается. Научно-технический задел для перспективных технологий 65–28 нм не формируется.

Какие же факторы сдерживают производство так необходимых материалов? Назовём следующие.

1. Малые объёмы потребления материалов и, как следствие, длительная окупаемость затрат или их нерентабельность. Размер требуемых капитальных вложений может превышать стоимость компаний, способных заниматься разработкой и производством продукции такого рода.

2. Отсутствие соответствующей материальной базы (инфраструктура и оборудование), недостаточная оснащённость материаловедческих предприятий технологическим и аналитическим оборудованием. Действующие механизмы поддержки материаловедения для микроэлектроники (научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, НИОКР) не всегда эффективны, так как для разработки и производства современных и перспективных высокочистых материалов необходимы передовые инфраструктура, технологическое оборудование и оснастка, контрольно-измерительное и аналитическое оборудование. Большая часть материаловедческих предприятий не могут позволить себе закупать за счёт собственных средств такое оборудование.

3. Отсутствие специализированного аналитического центра контроля высокочистых материалов для микроэлектроники, в том числе для функционального тестирования и испытаний материалов.

4. Отсутствие научно-технического задела для большинства материалов. Компетенциями по разработке и производству современных материалов обладает ограниченное число организаций.

Перспективы производства особо чистых материалов для микроэлектроники нам видятся в разработке технологий очистки и доведения их качества до необходимых требований с помощью организации микротоннажных производств на базе институтов, находящихся под научно-методическим руководством РАН. Вариантом малотоннажного производства полного ассортимента материалов и транспортной тары для создаваемых производств интегральных схем, что исключит импортозависимость, может быть создание предприятий:

- по разработке и производству литографических материалов и их компонентов, по очистке, фильтрации и поставке сверхчистых кислот и травителей на их основе;

- по очистке, фильтрации и поставке органических веществ и растворителей;

- по изготовлению сверхчистых технологических газов и металлоорганических соединений;

- по созданию и производству суспензий для химико-механической планаризации;

- по производству транспортной и потребительской тары для химических материалов, прекурсоров и газов;

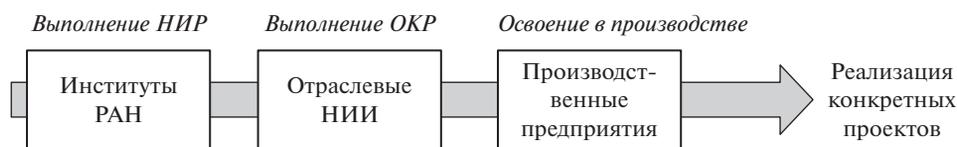


Рис. 1. Технологические цепочки по разработке и освоению в производстве новых технологических процессов, специализированных материалов и технологического оборудования

- по производству мишеней для напыления металлов.

В области обеспечения сырьём и материалами для микроэлектроники целесообразными представляются следующие направления работ.

1. Создание стратегического запаса материалов длительных сроков хранения. В случае, если они могут храниться в течение двух и более лет, а их разработка и освоение выпуска многократно превышают стоимость закупки для хранения в запасе, целесообразно создать обновляемые запасы (кремниевые пластины, мишени для напыления металлов).

2. Разработка и освоение производства материалов, стратегически важных для производителей микроэлектроники. Это направление требует срочной постановки комплекса НИОКР. Срок годности особо чистых веществ и материалов для микроэлектроники (фоторезисты, антиотражающие покрытия, суспензии и др.) имеет существенные ограничения и составляет, как правило, не более 6 месяцев, к тому же они требуют особых условий транспортировки и хранения, в связи с чем организация поставок по схеме параллельного импорта представляется неэффективной.

3. Формирование нового механизма организации разработки и производства сырья и материалов, для которых действующие механизмы, в том числе субсидии на НИОКР, неэффективны. Механизм должен включать в себя государственное стратегическое планирование работ и государственный заказ.

Следует отметить, что по направлению «Разработка и освоение производства материалов, стратегически важных для производителей микроэлектроники» активизировало свою деятельность Министерство промышленности и торговли РФ. Создана специальная рабочая группа по химическим материалам, в составе которой 12 секций. Их возглавляют в основном сотрудники научно-исследовательских институтов РАН, а состоят они из представителей отраслевых институтов и организаций – потребителей конкретных материалов. Работа секций заключается в анализе используемых в радио- и микроэлектронной промышленности материалов иностранного производства и их отечественных аналогов; обосновании технических требований к отечественным

аналогам, планируемым к разработке и последующему производству; в оценке прогнозируемого объёма потребления, в формировании проектов технических заданий на выполнение научно-исследовательских работ.

Далее, для развития микроэлектроники как отрасли промышленности *необходимо создавать технологические цепочки* (рис. 1) по разработке и освоению новых технологических процессов, специализированных материалов и технологического оборудования. Для этого требуются механизмы приоритетного финансирования подобных цепочек.

Примером уже сложившейся с 2019 г. цепочки взаимодействия может служить работа в области литографических материалов (фоторезисты, антиотражающие покрытия и др.). Начало такому взаимодействию положила встреча научного руководителя Института проблем химической физики РАН (ныне Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН – ФИЦ ИПХФ и МХ) академика РАН С.М. Алдошина с коллегами из АО «Научно-исследовательский институт молекулярной электроники» (НИИМЭ), а также Научно-исследовательского института полупроводников и красителей (НИОПиК) во главе с членом-корреспондентом РАН Б.Г. Грибовым, на которой было высказано предложение создать рабочий коллектив из представителей науки, прикладных НИИ и производителей для разработки отечественных литографических материалов. Такой коллектив сложился и в настоящее время успешно действует.

На основе взаимодействия учёных и технических специалистов вырисовался возможный путь решения проблем, касающихся налаживания производства особо чистых веществ и материалов для микроэлектроники. В большинстве случаев они требуются в небольших количествах, а срок хранения некоторых из них невелик. Этот путь – *организация для нужд предприятий микроэлектроники исследований и микротоннажного производства, реализация новых технологий особо чистых веществ и материалов на базе институтов РАН*. С этой целью предлагается создать соответствующие центры. Преимущества такого решения состоят в наличии в академических институтах РАН квалифицированных кадров, а также в том, что

научно-технический потенциал профильных институтов Академии наук, формируемая инфраструктура, технологическое и аналитическое оборудование будут использоваться для решения фундаментальных и прикладных задач по созданию материалов для технологий 65–28 нм. В качестве координационно-аналитического центра по особо чистым материалам готов выступить НИИМЭ, коллектив которого имеет богатый опыт организации такого рода взаимодействия.

Следует учитывать, что от зарубежных поставщиков материалов мы получали не только продукты, но и технологии их применения, включающие обеспечение чистоты химических реактивов без изменений их свойств по сравнению с исходным уровнем, автоматического контроля герметичности трубопроводов и соединений, создание систем автоматической доставки требуемых количеств технологических сред до точек использования, выстраивание логистики, оптимизацию производственной деятельности и т.д. В настоящее время поставки прекратились, и отечественные компании пытаются организовать собственную разработку необходимых систем. Но есть одна проблема: руководство компаний понимает (правда, не всегда в полной мере), как работает, условно говоря, производство микросхем, но как доставлять химические среды и реактивы, как этим процессом управлять, ясности нет. Привлечение к столь сложным задачам только внутреннего персонала подразделений разработчиков, скорее всего, не принесёт желаемого результата, поэтому появится запрос на услуги определённых центров высокочистых материалов.

Очевидно, что в этих случаях логичнее использовать профессиональную внешнюю команду для решения вопросов импортозамещения. Её целями должны быть инициация и координация разработки новых технологий микротоннажного производства особо чистых веществ и материалов и последующего масштабирования изготовления серийных и перспективных изделий.

Создание координационно-аналитического центра разработки технологии особо чистых веществ и материалов для микроэлектроники, в роли которого, как отмечалось выше, может выступить НИИМЭ, необходимо для организации исследований, обоснования требований к параметрам технологических сред, средствам их подготовки на основе выбранных решений; организации и координации разработок методов квалификации и управления параметрами технологических сред, а также технических решений, способствующих существенному снижению удельных расходов этих сред на выпуск одной микросхемы, повышению эффективности использования первичных ресурсов, достижению международного уровня по выбросам и влиянию на

окружающую среду, внедрению “зелёных технологий”. На повестке дня и разработка учебных программ, обучение персонала (в том числе студентов базовых кафедр) новым технологиям не только создания, но эксплуатации систем инфраструктуры микроэлектроники.

Возвращаясь к центрам проведения исследований и микротоннажного производства материалов, отметим, что пилотным проектом стало создание центра литографических материалов для микроэлектроники с инфраструктурой “чистых” помещений на базе ФИЦ ПХФ и МХ РАН. Цель – обеспечение технологического суверенитета России в этой области для существующих (180–90 нм) и новых (65–28 нм) технологий производства серийных и перспективных изделий специального и гражданского назначения.

Выбор ФИЦ ПХФ и МХ РАН обусловлен наличием развитой материально-технической базы, включая лабораторные помещения, технологические и производственные площадки, оснащённые разнообразным оборудованием – совокупный парк дорогостоящих реакторов, уникальных установок, приборов физико-механического и физико-химического анализа, в том числе полимеров и композиционных материалов, насчитывает более 250 единиц. Здесь имеются аналитический центр коллективного пользования, химико-технологический комплекс (натурные химико-технологические установки размещены на площади 1900 м²), центр коллективного пользования “Новые нефтехимические процессы, полимерные композиты и адгезивы”, высокопроизводительный вычислительный центр.

Кроме того, по конкурсам, проводившимся Минобрнауки России в 2019 и 2022 гг., созданы две молодёжные лаборатории, работающие в области материалов для микроэлектроники по предусмотренному для такого рода научных коллективов алгоритму – проведение передовых исследований и быстрое внедрение их результатов в производство. Об этом свидетельствует успешное участие молодёжных лабораторий в выполнении опытно-конструкторской работы “Разработка полимерных плёнообразующих композиций для создания фоторезистов микроэлектронного производства современного уровня”, в результате которой предложена полимерная основа антиотражающего покрытия (АОП), которое уже выпускается на мощностях ООО “Поликетон”. В таблице 1 представлены практически не отличающиеся друг от друга параметры размеров топологических элементов фоторезистивных масок, нанесённых на разработанный отечественный АОП-27 и на импортный АОП. При этом АОП-27 соответствует требованиям по чистоте, о чём свидетельствуют следующие значения содер-

Таблица 1. Линейные размеры топологических элементов фоторезистивных масок, нанесённых на разработанный АОП-27 и на импортный аналог

Размеры, нм	АОП импортный	Разработанный АОП-27
Максимальный	130.59	130.76
Минимальный	128.93	128.10
Среднее значение	129.68	129.09
Разброс	1.66	2.66

жания примесей: Al, Mg, Mn < 10 ppb; K, Cu < 15 ppb; Fe, Mo < 20 ppb; Ca, Na, Zn < 30 ppb (1 ppb = 1 мг/т).

Работы проходили в рамках технологической цепочки, о которой сказано выше (НИИМЭ, ФИЦ ПХФ и МХ РАН, НИОПиК, “Поликетон” и АО “Микрон”). Успешно реализуется ещё одна опытно-конструкторская работа, в рамках которой ФИЦ ПХФ и МХ РАН должен предложить полимерную основу фоторезиста и фотогенератора кислоты. Особую гордость вызывает создание и микротоннажное производство поверхностно-активного вещества (проявитель), с которым без нареканий работает АО “Микрон”. Но впереди более масштабная задача – создание центра исследований и микротоннажного производства литографических материалов для микроэлектроники с инфраструктурой “чистых” помещений, под который уже выделен целый корпус. Для решения этой задачи остро необходим новый механизм организации работ, включая государственный заказ, формируемый на основе государственного стратегического планирования.

В дальнейшем на базе институтов РАН необходимо создать центры исследований и микротоннажного производства в области органических и неорганических соединений, специальных газов, фильтровальных материалов, полимеров.

С целью координации работ в области особо чистых материалов для микроэлектроники целесообразно сформировать при Президиуме Российской академии наук на базе Научного совета РАН по материалам и наноматериалам и Научного совета Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН “Фундаментальные проблемы элементной базы информационно-вычислительных и управляющих систем и материалов для её создания” объединённый совет по материалам для микроэлектроники и фотоники. Это крайне необходимо, поскольку особо чистые материалы обеспечивают развитие приоритетного направления критических и сквозных технологий “Микроэлектроника и фотоника”, служат основой всех без исключения высокотехнологичных отраслей экономики Российской Федерации,

принципы и цели развития которых определены Концепцией технологического развития на период до 2030 года, утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р [4].

Задачей совместной работы должно быть целеполагание, мониторинг и проведение экспертизы научных исследований и разработок по импортозамещению сверхчистых и новых материалов и веществ для микроэлектроники и фотоники, выработка рекомендаций с функциональными требованиями к отдельным классам продуктов для достижения технологической независимости в этой области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стенограмма заседания Совета по стратегическому развитию и национальным проектам 15 декабря 2022 г. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjA1J3M1duAAxUoKxAIHZuFBgwQFnoECAsQAQ&url=http%3A%2F%2Fkremlin.ru%2Fevents%2Fpresident%2Fnews%2F70086&usg=AOvVaw1CR51Iyemutntpezd-GGNF&opi=89978449> (дата обращения 14.08.2023).
2. Перечень поручений по итогам заседания Совета по стратегическому развитию и национальным проектам. Пр-144, п.1а-2 от 26 января 2023 г. <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/70412> (дата обращения 14.08.2023).
3. Распоряжение Правительства РФ от 17.01.2020 г. № 20-п. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjOtr-SW3duAAxUCjosKHQNbcjwQFnoECAsQAQ&url=http%3A%2F%2Fgovernment.ru%2Fdocs%2F38795%2F&usg=AOvVaw0g3L1TYt7dfA_j9r_cheMR&opi=89978449 (дата обращения 14.08.2023).
4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20.05.2023 № 1315-р. <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202305250050> (дата обращения 14.08.2023).

PROBLEMS AND WAYS TO ACHIEVE TECHNOLOGICAL INDEPENDENCE IN THE FIELD OF MATERIALS FOR MICROELECTRONICS

E. R. Badamshina^{1,#} and E. S. Gornev^{2,##}

¹*Federal Research Center of Problems of Chemical Physics and Medicinal Chemistry RAS, Chernogolovka, Russia*

²*JSC "Research Institute of Molecular Electronics," Zelenograd, Russia*

[#]*E-mail: badamsh@icp.ac.ru*

^{##}*E-mail: egornev@niime.ru*

Strengthening technological sovereignty is one of the key tasks in the implementation of measures to achieve the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030. In this regard, the development and establishment of production of a wide range of domestic materials, including of highly pure ones, in the shortest possible time for the needs of the microelectronic industry becomes extremely urgent. The authors present the main problems and ways of developing the production of such substances and materials. The article is based on a report heard at a meeting of the Presidium of the Russian Academy of Sciences on the role of chemistry and materials sciences in ensuring technological sovereignty of Russia.

Keywords: materials for microelectronics, high-purity materials, integrated circuits, photolithography, photoresists, antireflection coatings, suspensions, surfactants, developers.

ПРАВОВАЯ СТРАТЕГИЯ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2023 г. С. В. Кабышев^{a,b,*}

^aКомитет Государственной думы Федерального Собрания РФ по науке и высшему образованию, Москва, Россия

^bМосковский государственный юридический университет имени О.Е. Кутафина, Москва, Россия

*E-mail: svkabyshhev@mail.ru

Поступила в редакцию 31.05.2023 г.

После доработки 10.07.2023 г.

Принята к публикации 06.09.2023 г.

Наука должна служить обществу, и именно через право формулируется отношение государства к научной деятельности, выражается её социальное целеполагание, закрепляются интересы и требования, связанные с получением общественно значимого научного эффекта. В современных реалиях форсированный научно-технологический прогресс становится историческим императивом для успешного развития российской государственности, и отечественная юриспруденция должна предложить эффективную правовую стратегию научно-технологического развития. В статье с опорой на конституционные принципы обсуждаются некоторые основные аспекты данной стратегии, касающиеся её категориального аппарата, ценностно-мировоззренческой и структурно-хозяйственной ориентации, организационно-управленческой и пространственно-территориальной составляющих. Формулируются предложения и подходы, направленные на совершенствование законодательной основы государственной научно-технической политики.

Ключевые слова: наука, государственная научно-техническая политика, научно-технический потенциал, научно-технологический суверенитет, право науки, правовая стратегия.

DOI: 10.31857/S0869587323100067, EDN: HFUOUU

Нет необходимости доказывать масштаб и остроту общественного запроса, обращённого сегодня к науке, к каждому учёному. Российская наука, располагая значительным кредитом доверия, должна соответствовать времени, давать чёткие ответы на стоящие перед страной вызовы. Сама жизнь диктует задачи ускоренных и системных социально-экономических преобразований на основе разработки и имплементации отечественных критически значимых технологий и су-

щественного увеличения доли предприятий, относящихся к новым технологическим укладам. Научно-технологический прогресс становится историческим императивом, инструментом успешного достижения стратегических национальных целей во всех сферах.

Формирование и реализация научно-технологического потенциала — ключевой фактор развития российского государства на современном этапе, который должен обеспечить соблюдение принципов конституционного строя, включая гарантии сохранения государственного суверенитета, благополучия общества и интересов личности. Конституция РФ содержит комплексное обоснование научно-технологического развития, определяя его ценностные, социально-целевые, принципиальные, компетенционные, институциональные основы (часть 1 ст. 44, пункты “е” и “м” ст. 71, пункт “е” части 1 ст. 72, пункты “в” и “в. 1” части 1 ст. 114), что предполагает последовательное развёртывание духа и смысла конституционного регулирования в правовой системе.



КАБЫШЕВ Сергей Владимирович — председатель Комитета Государственной думы ФС РФ по науке и высшему образованию, профессор кафедры конституционного и муниципального права МГЮА.

Важно иметь в виду, что роль права, призванного обеспечивать комплексный режим благоприятствования инновациям, не носит только инструментально-служебный характер, а включает в себя определение социального целеполагания и эффективности, стимулирования и ответственности в рамках национально-ориентированного и гуманистического вектора развития. Характерно, что в Федеральном законе “О науке и государственной научно-технической политике” (ст. 2) само понятие *государственной научно-технической политики* раскрывается через её принадлежность как элемента к социально-экономической политике государства. В современных реалиях право должно обеспечить чёткую привязку научных результатов к реализации национальных приоритетов и созданию условий для самодостаточности страны в критически значимых областях. На передний план при проведении любых, в том числе фундаментальных, научных исследований необходимо выдвинуть *социальный эффект*, учёным следует осознавать уровень своей ответственности в вопросах национального развития, свой долг перед Родиной.

Юридической формой правовой стратегии социально-ориентированного научно-технологического развития Российской Федерации, основанной на широком междисциплинарном диалоге, в научно-теоретическом, законодательно-отраслевом и юридуко-практическом должно стать вновь созданное структурно обособленное в качестве комплексной отрасли *российское право в сфере науки*¹.

Центральным, системообразующим регулятивным элементом данной отрасли будет выступать Федеральный закон “О науке и государственной научно-технической политике”, который, хотя формально и признаётся сегодня в качестве базового профильного акта (пункт 1 ст. 1), не обеспечивает востребованную полноту и согласованность функционирования институтов научно-технологического развития, необходимое единство государственной научно-технической политики.

Учитывая широту обсуждаемой тематики и необходимость выхода на концептуальные перспективные решения, сформулирую несколько основных проблемно-установочных тезисов, касающихся формирования указанной правовой

стратегии, не претендующих, однако, на всеохватность и исчерпывающий характер.

Прежде всего нужно остановиться на *понятийно-категориальной* стороне научно-технологического развития, которая имеет не столько абстрактно-научное, сколько инструментально-методологическое и политико-правовое значение.

В последнее время в экспертно-политическом лексиконе стало обиходным понятие научно-технологического суверенитета, под которым понимается главным образом независимость в критически значимых технологиях. По сути данное понятие претендует на системообразующую роль в концептуальном осмыслении научно-технологического развития и соответствующее закрепление в качестве непосредственно правовой категории. Бесспорная важность смысловой нагрузки этого понятия предъявляет повышенные требования к терминологической точности во избежание рисков негативных правовых и социальных последствий.

Суверенитет является фундаментальной государственно-правовой категорией, которая характеризует имманентные атрибуты государства в виде верховенства, независимости, самостоятельности и полноты государственной власти. Добавление различных предметно-отраслевых эпитетов, как может показаться, углубляет, обогащает это понятие, однако при этом неизбежно возникает искусственное многообразие “суверенитетов”, тяготеющих к частным интересам и обществам. Такой подход к пониманию суверенитета ставит вопрос о главенстве определённого его профиля и преодолении “коллизий суверенитетов”.

Смысл, вкладываемый в термин “научно-технологический суверенитет”, юридически корректно раскрывается через научно-технологические (равно как соответствующие социальные, экономические, культурные, информационно-коммуникационные, политические и иные) факторы единого и неделимого суверенитета государства, который в свою очередь является производным от народа и обеспечивает целостность жизненных форм и способов его бытия. Существенным здесь является безусловный приоритет научного подхода во всех сферах развития государства и общества, реальное возвышение науки, её роли и престижа в качестве основополагающего фактора самостоятельности, полновластия и благополучия нашего народа. Важно на законодательном уровне отразить, что государственная научно-техническая политика:

- исходит из признания науки основой эффективного комплексного развития российской государственности;

¹ Понятие “право в сфере науки” (law of science) используется как синоним научно-исследовательского права (research law), но придаёт этой новой комплексной отрасли более значимый и самостоятельный характер, связанный с её особой ролью в научно-техническом развитии. Главное состоит в том, что речь идёт именно о правовом регулировании науки [1, с. 19, 20].

- предполагает сопряжение целей и задач научно-технологического развития с обеспечением суверенитета, конкурентоспособности России и её сбалансированного пространственно-территориального развития;
- обеспечивает концентрацию ресурсов на достижении прорывных научных результатов в целях опережающего развития;
- реализуется через единую систему управления научно-технологическим развитием, основанную на взаимодействии и согласованном функционировании органов публичной власти.

Значение научно-технологического развития для реализации суверенных интересов нашего государства и необходимость такого развития на основе выработки концептуальных решений, требующих широкого обсуждения, подчёркивают важность активного участия парламента в формировании и контроле за реализацией государственной научно-технической политики. Опыт плодотворного парламентского взаимодействия с академическим сообществом должен расширяться.

При обсуждении *концептуальных аспектов правовой стратегии научно-технологического развития* важно учитывать, что наука как таковая не может рассматриваться изолированно, в отрыве от национального социокультурного и политико-правового контекста. Как правильно замечено, в современном мире «восприятие науки как автономного института, а научной деятельности — как реализации чисто познавательного интереса отрешённым от всего и вся учёным-гением уступило место комплексному представлению о науке как одновременно познавательному, социальном, экономическом, культурном явлении, принадлежащем более широкому контексту человеческого познания и практики» [2, с. 427].

Убеждён, речь должна идти не только о проблемах адаптации науки к меняющимся условиям и потребностям жизни, но и в конечном счёте о формировании парадигмы национально-ориентированного научного мировоззрения, с тем чтобы стремление к познанию, освоению мира сопрягалось с целями благополучия и возвышения Отечества. Разумеется, наука не должна быть политизированной. Но обособить науку от традиций, ценностей, культуры, цивилизационного типа общества, от особенностей и требований конкретно-исторического момента — значит умалить её социальное предназначение, выхолостить в учёном его гражданственность, патриотизм.

Национально-исторический долг российской науки состоит в том, чтобы в русле безусловной приверженности традиционным духовно-нравственным ценностям сформулировать рацио-

нально обоснованный идейно-мировоззренческий базис для определения и объяснения целеполагания и смысла исторического развития российской государственности, который имел бы консолидирующее и направляющее общесоциальное воздействие.

Обозначенная задача российской науки по формированию идейно-мировоззренческого каркаса российской государственности тем более важна, что наука по своей сути является самостоятельной формой общественного сознания, которая существует наряду и в неразрывном системном единстве с другими такими формами, включая культуру, искусство, право, религию. Научное мировоззрение исторично и национально, оно культурно обусловлено. И современная российская наука должна осмыслить себя в мировоззренческом качестве. Не только переоценить с недогматических позиций и в фокусе примата национальных интересов методологию познания общественно значимых явлений и процессов (включая, например, концепцию устойчивого развития), но и сформировать, помимо прочего, подходы к социальному целеполаганию научной деятельности, факторам престижа, мотивации, свободы, долга и ответственности учёного (в том числе применительно к молодым учёным), институционализации признанных научных школ и научных авторитетов.

При формировании правовой стратегии научно-технологического развития следует определиться с его *структурными целями*. Несмотря на безусловную важность трансформации российской экономики с ориентацией на новые технологические уклады, нужно понимать, что инновационные отрасли не должны подавлять развитие наших естественных производительных сил, сосредоточенных в минерально-сырьевом комплексе. Вопрос сбалансирования этих сфер в новых условиях требует научного решения. Вместе с тем субъекты недропользования, извлекающие выгоду из ресурсов, относящихся по своей сути к общенациональному достоянию, должны внести свой ощутимый вклад в научно-технологическое обновление национальной экономической системы.

В некоторых странах востребован механизм обязательных инвестиций недропользователей в НИОКР, причём такие инвестиции увязаны с приоритетами научно-технологической политики. Согласно Конституции РФ природные ресурсы используются как основа жизни и деятельности многонационального народа России (часть 1 ст. 9), то есть они выступают в качестве общенационального достояния, должны служить общему благу.

Введение в той или иной форме обязанности недропользователей участвовать в финансиру-

нии научно-технологического развития страны способствовало бы укреплению экономической, политической и социальной солидарности, развитию социальной ответственности бизнеса и преодолению нравственно-юридических деформаций, сопровождавших процессы приватизации.

Требуется совершенствование механизма управления научно-технологическим развитием как в организационном, экспертном и методическом плане, так и через более эффективное увязывание фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований с национальными приоритетами и документами государственного стратегического планирования. Нельзя не согласиться с тем, что в настоящее время в стране сложилась достаточно сложная, громоздкая и зачастую противоречивая система управления научно-техническим развитием [3, с. 204]. Существующие институты поддержки инноваций (в частности, НОЦ, ИНТЦ, особые экономические зоны технико-внедренческого типа, наукограды и т.п.) разведены по разным ведомствам, функционируют и развиваются вне системных связей, хотя достижение суверенных целей научно-технологического развития предполагает системное законодательное урегулирование научной (научно-технической) экспертизы. В настоящее время соответствующий законопроект, внесённый Правительством РФ, находится на рассмотрении Государственной думы.

Полагаю, что смысл научной экспертизы должен определяться двуедиными задачами и состоит в том, чтобы обеспечить научную обоснованность общественно значимых решений и одновременно социально-полезный эффект научной деятельности. Поэтому важно добиться полноты объектного охвата научной экспертизы, которая должна быть направлена на анализ и оценку документов (включая проекты и обоснования к ним), определяющих формирование и реализацию государственной научно-технической политики и научно-технологического развития публично-правовых образований, проектов, объектов и результатов научной, научно-технической и (или) инновационной деятельности.

Соответственно, перед российским академическим сообществом стоит задача сформировать научную концепцию измерения социального эффекта научной деятельности с участием представителей государства, отраслей промышленности, общественных организаций. Нужно наладить работу механизмов обратной связи, позволяющих оценивать и корректировать научные исследования и разработки с учётом внедрения предшествующих результатов и меняющихся жизненных условий.

Необходимо принципиально повысить *качество оценки научной результативности* как важного фактора эффективности научно-технологического развития страны и рационального использования финансово-бюджетных ресурсов. Представляет безусловный интерес опыт Китая, который давно и последовательно развивает комплексную предметно-дифференцированную национальную систему измерения научных результатов, ориентируясь при этом на собственные потребности и стремясь всё более активно использовать инструменты качественной, содержательной экспертной оценки, а не библиометрические показатели.

Исключительно актуален анализ эффективности нормативных правовых актов, регламентирующих использование наукометрических показателей и научно-издательскую деятельность, в целях актуализации правового регулирования, устранения устаревших и необоснованных, обременительных требований. Требуется выработка мер по совершенствованию правового регулирования в сфере рецензирования научных журналов в целях повышения качества, объективности и прозрачности рецензирования, а также поддержки вновь создаваемых научных журналов по приоритетным направлениям научно-технологического развития.

Считаю правильной постановку президентом РАН Г.Я. Красниковым вопроса о необходимости корректировки механизма государственных заданий на научные исследования [4]. Нужно усилить роль академического сообщества, чтобы государственные задания были ориентированы на существенное приращение научной новизны результатов и наибольший уровень их конечной практической эффективности и востребованности.

Стоит подчеркнуть необходимость серьёзного повышения вклада университетской науки в научно-технологическое развитие страны. В связи с этим крайне важным представляется чёткое, системное увязывание программ развития вузов с реализацией приоритетов национального развития, выполнением стратегических документов субъектов Российской Федерации. Взаимосвязь между такими программами и документами стратегического планирования не может сводиться к формально-терминологическим моментам (в частности, в виде текстуального воспроизведения в том или ином объёме государственных целей и приоритетов), а должна отражать с достаточной степенью полноты и детализации верифицируемое (измеримое) участие вузов в реализации стратегических целей и задач государства. А значит, требует совершенствования механизма формирования программ развития вузов: нужно сконцен-

трироваться на научном решении общественно значимых задач во взаимодействии с отраслевыми федеральными органами, субъектами Российской Федерации и муниципальными образованиями.

Серьёзного внимания требует *территориальный аспект научно-технологического развития*. Следует отметить, что в соответствии с пунктом 1 ст. 11 Федерального закона “О науке и государственной научно-технической политике” рациональное размещение и эффективное использование научно-технического потенциала — одна из основных целей государственной научно-технической политики.

На заседании президентского Совета по науке и образованию, состоявшемся 8 февраля 2023 г., были высказаны предложения о совершенствовании управления территориями с повышенной концентрацией науки, об актуализации статуса наукоградов и иных подобных территорий, вовлечённых в реализацию научно-технологических проектов мирового уровня (мегасайенс) [5]. Перечень поручений по итогам этого заседания содержит поручение Правительству РФ “принять дополнительные меры по инфраструктурному развитию территорий с высоким научно-технологическим потенциалом в рамках реализации программ благоустройства городов и проектов по созданию комфортной городской среды” [6, пункт 2 “ж”]. Очевидно, что реализация данного поручения должна быть вписана в более широкий контекст мер, направленных на развитие наукоградов и подобных им образований.

Комитет Государственной думы по науке и высшему образованию по итогам выездного заседания в Дубне 24 ноября 2022 г. утвердил рекомендации “Потенциал наукоградов и территорий с высокой концентрацией интеллекта для форсированного научно-технологического развития России: законотворческий аспект” [7]. Основной посыл этого документа состоит в том, что механизмы управления наукоградами и иными подобными территориями, имеющими общенациональное стратегическое значение, должны обеспечивать согласованное развитие этих территорий в рамках единой государственной научно-технической политики. Существующая же модель, в соответствии с которой наукограды включаются в городские округа, искусственно препятствует сохранению и развитию нашего научного потенциала с использованием современных конституционных возможностей организации системы публичной власти.

В связи с этим в настоящее время необходимо:

- определить и юридически формализовать состав территорий с высоким научно-технологическим потенциалом и те из них, которые нужда-

ются в дополнительных мерах по инфраструктурному развитию и применительно к которым такие меры необходимы и оправданны с точки зрения приоритетных задач государственного научно-технологического развития. Реализация этой задачи сопряжена с настоятельной необходимостью конкретизации в законодательстве конституционно-правовой категории “научный потенциал” (пункт “в. 1” части 1 ст. 114 Конституции РФ), в том числе в соотношении с категорией “научно-технологический потенциал” (как совпадающих категорий либо различающихся);

- рассмотреть вопрос о необходимости актуализации правового статуса наукоградов Российской Федерации через признание их в качестве особых публично-правовых образований, имеющих стратегическое общегосударственное значение для достижения прорывного, форсированного научно-технологического развития Российской Федерации;

- обеспечить принятие мер, направленных на повышение согласованности функционирования и взаимодействия органов публичной власти на территориях с высокой концентрацией интеллекта, гармонизированный учёт в их деятельности общегосударственных, региональных и местных интересов, вовлечение научных сообществ наукоградов в формирование и реализацию единой государственной научно-технической политики Российской Федерации. В данном случае предлагается формировать институты государственного и научного руководства развитием таких территорий и одновременно создавать условия для представительства интересов, связанных с развитием научно-технического потенциала соответствующих территорий, в непосредственном взаимодействии с федеральными органами государственной власти;

- сформировать (усовершенствовать) организационно-правовые механизмы, обеспечивающие реализацию мероприятий инфраструктурного развития территорий с высоким научно-технологическим потенциалом в соответствии с целями сохранения и совершенствования их научно-технологического потенциала, то есть подчинить программы и проекты благоустройства централизованным механизмом управления ими как именно научно-ориентированными территориями, интегрированными в государственную научно-техническую политику;

- определить перечень дополнительных мер и критериев оценки их эффективности, в том числе с использованием пилотной модели правового регулирования.

Нельзя не учитывать также ограниченность возможностей пространственного развития наукоградов. Это обстоятельство подталкивает к тер-

риториальным укрупнениям, как это произошло, например, недавно в Московской области (в рамках преобразования наукоградов Пушкино и Протвино и городского округа Серпухов). При неизменности прежних управленческих моделей это может повлечь за собой дополнительные инфраструктурные риски.

Отсутствие специального федерального правового регулирования преобразования наукоградов, тем более с участием муниципальных образований, не обладающих таким особым статусом (в частности, без определения порядка согласования данных решений на федеральном уровне и необходимого уточнения ранее принятых актов в отношении особого статуса соответствующих территорий), порождает неоднозначные трактовки юридических последствий такого преобразования, дезориентирует научную общественность и граждан и может приводить к снижению организационных и финансовых гарантий эффективного и устойчивого функционирования сложившихся научно-производственных комплексов наукоградов и достижения целей, определённых стратегиями их развития.

В связи с этим следует рассмотреть вопрос о внесении в федеральное законодательство необходимых изменений, направленных на урегулирование специального порядка преобразования муниципальных образований, обладающих статусом наукограда. Следует предусмотреть обязательность:

- обоснования планируемого преобразования с точки зрения создания условий для повышения вклада научно-производственного комплекса наукограда (в сочетании с научно-производственным комплексом смежного наукограда и научно-техническими, производственными, образовательными и иными возможностями иного муниципального образования) в реализацию приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации, качественного улучшения инфраструктуры наукограда для привлечения и закрепления высококвалифицированных кадров;

- согласования соответствующего преобразования с уполномоченным федеральным органом исполнительной власти с возможным использованием в рамках такого согласования инструментария научной (научно-технической) экспертизы представленной на согласование документации;

- выявления мнения научного сообщества наукограда (представителей научно-производственного комплекса наукограда) в отношении планируемого преобразования;

- установления чётких организационных, финансовых и иных необходимых гарантий, обеспечивающих сохранение возможностей результа-

тивного участия представителей научно-производственного комплекса наукограда в решении значимых вопросов развития наукограда и недопустимость снижения достигнутого уровня социальной защищённости на соответствующей территории.

Всё это означает, что необходимы системные законодательные решения и институты, которые призваны обеспечить централизованный режим управления комплексным научно-технологическим, социально-экономическим, пространственным развитием территорий, имеющих высокий научно-технический потенциал и стратегическое значение для государства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кашкин С.Ю.* Становление права науки как новой комплексной отрасли права // Вестник Университета имени О.Е. Кутафина (МГЮА). 2018. № 5. С. 16–27.
2. *Пирожкова С.В.* Наука как культурный феномен и социокультурный проект // Вестник Российской академии наук. 2020. № 5. С. 425–433.
3. *Черешнев В.А., Тодосийчук А.В.* Наука в России: состояние, проблемы, перспективы развития // Вестник Российской академии наук. 2022. № 3. С. 201–212.
4. Интервью президента РАН Г.Я. Красникова // Российская газета: Наука и технологии. 2023. 21 апреля.
5. Перечень поручений Президента РФ от 20 апреля 2023 года по итогам заседания Совета при Президенте РФ по науке и образованию 8 февраля 2023 года. <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/70973> (дата обращения 26 мая 2023 г.).
6. Перечень поручений Президента РФ от 20 апреля 2023 года по итогам заседания Совета при Президенте РФ по науке и образованию 8 февраля 2023 года. <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/70973> (дата обращения 26 мая 2023 г.).
7. Рекомендации Комитета Государственной думы по науке и высшему образованию от 24 ноября 2022 года по итогам выездного заседания в Дубне на тему “Потенциал наукоградов и территорий с высокой концентрацией интеллекта для форсированного научно-технологического развития России: законотворческий аспект”. http://komitet8.km.duma.gov.ru/upload/site113/Rekomendacii_parlamentskih_slushaniy_nauko-grady.pdf (дата обращения 26 мая 2023 г.).

SCIENCE AND SOCIETY LEGAL STRATEGY OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT OF RUSSIAN FEDERATION

S. V. Kabyshev^{1,2,#}

¹*Committee of the State Duma of the Federal Assembly of the Russian Federation for Science and Higher Education, Moscow, Russia*

²*Moscow Kutafin State Law University, Moscow, Russia*

[#]*E-mail: svkabyshev@mail.ru*

Science must serve society, and it is through law that the attitude of the state to scientific activity is formulated, its social goal-setting is expressed, and the interests and requirements associated with obtaining a socially significant scientific effect are fixed. In modern realities, accelerated scientific and technological progress is becoming a historical imperative for the successful development of Russian statehood, and domestic jurisprudence must offer an effective legal strategy for scientific and technological development. Based on constitutional principles, the article discusses some of the main aspects of this strategy regarding its categorical apparatus, value-ideological and structural-economic orientation, organizational-administrative and spatial-territorial components. Proposals and approaches aimed at improving the legislative basis of the state scientific and technical policy are formulated.

Keywords: science, state science and technology policy, science and technology potential, science and technology sovereignty, law of science, legal strategy.

ЭКОЛОГИЯ И КЛИМАТ: ГДЕ МЫ СЕЙЧАС И ГДЕ БУДЕМ ЧЕРЕЗ ДВА-ТРИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ ОБЩЕМИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

© 2023 г. В. И. Данилов-Данильян^{а,*}, В. М. Катцов^{б,**}, Б. Н. Порфирьев^{с,***}

^аИнститут водных проблем РАН, Москва, Россия

^бГлавная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова Росгидромета, Санкт-Петербург, Россия

^сИнститут народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва, Россия

*E-mail: vidd38@yandex.ru

**E-mail: director@main.mgo.rssi.ru

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

Поступила в редакцию 20.08.2023 г.

После доработки 31.08.2023 г.

Принята к публикации 11.09.2023 г.

Вниманию читателей предлагается первая из двух статей, подготовленных на основе исследований и докладов авторов в рамках организованного Агентством стратегических инициатив проекта “Горизонт 2040”. Это площадка для стратегического диалога с целью определить позиции России на международной арене в 2040 г. и предложить сценарии долгосрочного внутреннего развития по ключевым направлениям, включая экологию и климат. Оцениваются современное состояние глобальных экологических и климатических проблем, их динамика с точки зрения приоритетов мировой политики в области устойчивого развития за последние 50 лет. Представлен качественный прогноз изменений состояния и перспектив решения указанных проблем к 2040 г. Кратко рассматриваются ключевые проблемы Мирового океана, вод суши, качества воздуха, экологической ситуации в городах, климата и биоразнообразия. Обосновывается приоритетная стратегическая роль биоразнообразия в обеспечении устойчивого развития общества и экономики на долгосрочный период. Кроме того, делается акцент на недооценке адаптации в мировой климатической политике. Выделяются четыре типа ключевых событий согласно их роли в становлении “экологического человека” и четыре ключевых фактора, обуславливающие неудовлетворительную ситуацию в сфере экологии и климатологии и тенденции её дальнейшего ухудшения. Эти факторы относятся к сфере общественного сознания, системы ценностей и деятельностных установок человека.

Ключевые слова: экология, экологическая культура, биоразнообразие, климат, экономика, адаптация.

DOI: 10.31857/S0869587323100031, EDN: HFTNRL

В 1970-х годах человечество впервые за свою историю заинтересовалось глобальными экологическими проблемами, и, соответственно, экологическими характеристиками мировой экоси-



ДАНИЛОВ-ДАНИЛЬЯН Виктор Иванович — член-корреспондент РАН, научный руководитель ИВП РАН. КАТЦОВ Владимир Михайлович — доктор физико-математических наук, директор ГГО Росгидромета. ПОРФИРЬЕВ Борис Николаевич — академик РАН, научный руководитель ИНП РАН.

стемы – биосферы. Конечно, эти проблемы и ранее привлекали пристальное внимание отдельных учёных¹. К середине XX в. беспокойство населения и озабоченность властей (муниципальных, региональных, национальных) по поводу качества воздуха, воды и почв стали проявляться всё чаще. Однако на международный официальный уровень проблема защиты окружающей среды и обеспечения экологической безопасности впервые вышла лишь на Конференции ООН по окружающей среде (Стокгольм, Швеция) в 1972 г. Было признано, что кризисные экологические явления приобретают глобальный характер и вызваны антропогенным воздействием на природные системы. Следовательно, смягчение остроты и глубины проблем качества окружающей среды и обеспеченности природными ресурсами возможно только в их неразрывной увязке с решением социально-экономических и политических вопросов. Неслучайно в принятой на конференции декларации практически все установленные ею 26 принципов касались взаимодействия окружающей среды и развития, в том числе необходимости борьбы с нищетой и бедностью с целью защиты окружающей среды [1] – императив, по сути, повторённый в Парижском соглашении по климату спустя более 40 лет.

Для конкретизации представлений о состоянии окружающей среды, динамике её изменений в мировом масштабе и антропогенных воздействиях были необходимы количественные показатели. Некоторые из них очевидны: площадь покрытых лесом земель, пустынь и опустыненных территорий, общее количество загрязняющих веществ, выброшенных в воздух, сброшенных с жидкими отходами в водные объекты и скопившихся на поверхности почвы или под ней. Однако развитие науки (концепция биосферы как целостной системы, открытие озоновых дыр, исследование по моделированию динамики климата и т.д.) повлекло за собой существенное расширение перечня таких показателей. К важнейшим из них стали отнести оценки потерь биоразнообразия, мощность озонового слоя, концентрацию парниковых газов в атмосфере.

Сейчас экологические показатели (вместе с непосредственно связанными с ними социально-экономическими) исчисляются сотнями. И практически все они свидетельствуют об ухудшении состояния окружающей среды за прошедшие со Стокгольмской конференции полвека: увеличи-

лась и продолжает расти концентрация парниковых газов в атмосфере; ускоряются темпы сокращения биоразнообразия; уменьшается площадь лесопокрытых земель (кроме Западной Европы, где наблюдается некоторый рост, но масштабы слишком малы, чтобы повлиять на мировую динамику); ускоряются процессы опустынивания; усиливаются химическое отравление почвы и загрязнение Мирового океана. Едва ли не единственное исключение – улучшение состояния озонового слоя, антропогенное разрушение которого практически остановлено после почти полного прекращения производства и потребления озоноразрушающих веществ, хотя последствия их массового использования во второй половине XX в. будут давать о себе знать ещё не одно десятилетие. Исполнение Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой, – единственный за 50 лет реальный успех глобальной экологии.

Современная климатическая наука позволяет уверенно констатировать следующее: во-первых, за последние десятилетия в атмосфере, океане, криосфере и биосфере произошли широкомащтабные и быстрые изменения; во-вторых, масштабы недавних преобразований в климатической системе в целом и нынешнее её состояние во многих аспектах беспрецедентны на протяжении периодов от многих столетий до тысячелетий; в-третьих, эти сдвиги (прежде всего ускоренный разогрев атмосферы, океана и суши) произошли под влиянием деятельности человека [2]. Гипотезы о доминирующем вкладе естественных климатических факторов в ускорение температурных изменений не находят надёжных научных подтверждений. При этом не подвергается сомнению вклад естественной изменчивости в эволюционную динамику глобальной климатической системы на протяжении всей истории Земли.

Антропогенное изменение климата уже проявляет себя в изменениях статистики экстремальных погодных и климатических явлений во всех регионах мира. Доказательства наблюдаемого нарастания частоты и силы таких экстремальных событий, как волны тепла, обильные осадки, засухи, тропические циклоны, а также их связь с человеческим фактором становятся всё более убедительными и подтверждаются огромным массивом систематизированных данных докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, в английской аббревиатуре – IPCC), которые представляются на протяжении уже более 30 лет и в подготовке которых задействованы тысячи специалистов из многих стран.

Тенденции ухудшения практически всех (кроме связанных с защитой озонового слоя) характеристик окружающей среды в два-три ближайших

¹ Достаточно упомянуть знаменитый лондонский смог, ставший к концу XIX в. привычным явлением. Мимо него, как и в случае похожих экологических кризисов локального масштаба в других странах, не могли пройти ни журналисты, ни изобразивший его Клод Моне (именно он заметил, что смог имеет красноватый оттенок, чем очень удивил местных жителей), ни писатели (благодаря которым он вошёл в классическую литературу), ни исследователи.

десятилетия переломить, конечно, не удастся. Основываясь на широком спектре сценариев МГЭИК относительно антропогенного воздействия на климатическую систему и её преобразований вплоть до конца века, можно утверждать, что в обозримом будущем человечество ожидает усугубление ситуации и её воздействия на окружающую среду, экономику и население. При всех сценариях приземная температура будет продолжаться повышаться, по крайней мере до середины XXI в. [2], и может достигнуть $+1.5^{\circ}\text{C}$ по сравнению с доиндустриальной эпохой.

При этом в связи с усилением глобального потепления будут становиться более значительными такие изменения в климатической системе, как увеличение экстремально высоких температур и их повторяемости, частоты волн тепла в Мировом океане (который сосредоточивает подавляющую часть энергии климатической системы планеты и играет определяющую роль в глобальном потеплении), обильных осадков, засух, доли интенсивных тропических циклонов, а также сокращение площади морского льда, снежного покрова и многолетней мерзлоты. Ожидается, что продолжающееся потепление приведёт к дальнейшей интенсификации гидрологического цикла, включая его изменчивость, муссонные осадки и интенсивность влажных и засушливых явлений. При реализации сценариев с увеличением выбросов CO_2 поглощающие углерод экосистемы Мирового океана и суши будут менее эффективны в плане замедления накопления углекислого газа в атмосфере.

С научной точки зрения экология не даёт убедительного ответа на вопрос, где находится предел этих тенденций, так называемая точка невозврата, за которой биосферная катастрофа становится неизбежной. Большие затруднения связаны с количественным описанием этого предела, хотя за последние годы удалось добиться некоторого прогресса в качественном, структурном описании границ устойчивости земной системы [3–5]. Возможно, это обстоятельство служит главной (гносеологической) причиной недостаточно ответственного (мягко говоря) отношения большинства людей к экологической угрозе, порождённой развитием цивилизации. Тем не менее существенное снижение темпов ухудшения экологических характеристик в достаточно близком будущем – задача, которую необходимо решить для выживания человечества.

Почему, несмотря на непрерывное расширение и углубление наших знаний о негативном воздействии цивилизации на биосферу и чрезвычайной опасности развития этой тенденции, полувекковая история усилий мирового сообщества по решению глобальной экологической проблемы со всеми её составляющими представляет со-

бой список почти исключительно негативных констатаций? Представляется, что ключевые факторы, определяющие неудовлетворительную ситуацию в экологии и климатологии и тенденции её дальнейшего ухудшения, относятся к сфере общественного сознания, системе ценностей и деятельностных установок человека:

- низкая экологическая культура, непонимание серьёзности экологических угроз и связи долгосрочных экологических и экономических процессов;
- приоритет краткосрочных экономических интересов над долгосрочными социально-экономическими и экологическими целями или, в современных терминах, целями устойчивого развития;
- приоритет локальных выгод над глобальными ценностями, стремление переложить решение общих задач на других (известный из экономической теории эффект безбилетника, “зайца”, или проблема фрирайдера);
- ориентация на извлечение конкурентных преимуществ в ущерб и в результате пренебрежения общими целями, прежде всего в социальной (в широком смысле, включая гуманитарную и экологическую составляющие) сфере.

Действие первого из перечисленных факторов может быть ограничено благодаря совершенствованию системы воспитания и общего образования, второго и третьего – хотя бы отчасти – благодаря специальному образованию, мерам по формированию установки на всесторонний, комплексный учёт собственных интересов. Сложнее всего дело обстоит с последним фактором, который в наибольшей степени зависит не от интеллекта и фенотипа личности, а от стремления всего живого к экспансии.

С экологической (как и с биологической) точки зрения развитие характеризуется не столько событиями, сколько процессами. События, скорее, обуславливают развитие человека в аспекте его отношения к экологическим проблемам, но исключения, причём различного характера, в принципе возможны и здесь. С позиции их роли в становлении “экологического человека” (*Homo ecologicus*) события можно разделить на четыре типа:

- “*грозные предупреждения*” – события в окружающей среде, возникающие в результате антропогенного воздействия и наносящие ей (и в конечном счёте всему человечеству) огромный ущерб;
- “*поворотные пункты*” прямого действия – события (прежде всего решения/соглашения государств и международного сообщества), существенным образом изменяющие в каком-либо аспекте характер воздействия человека на природу; пример общемирового уровня – вышеупомянутый Монреальский протокол о веществах, разрушающих озоновый слой; на региональном (евро-

пейском) уровне – серия директив о контроле крупных аварий, связанных с опасными веществами, принятых ЕС в 1982, 1996 и 2012 гг. после масштабной химической аварии в 1976 г. в Севезо (Италия) и названных, соответственно, директивами Севезо-I (82/501/ЕЕС), Севезо-II (96/82/ЕС) и Севезо-III (2012/18/EU), которые радикально сократили риск экологически опасных катастроф;

- “поворотные пункты” когнитивного действия – события/решения, направленные на изменение общественного сознания в отношении экологии (например, о введении обязательного бесплатного строго контролируемого экологического образования, которое в России ещё ждёт своего часа);

- регуляторные “поворотные пункты” – введение мер экономического или административного регулирования хозяйственной или иной деятельности, которые стимулируют или вынуждают экономических и других агентов отказываться от разрушающих природу действий и исполнять природоохранные меры (например, введение так называемых пигувианских налогов, нормирование выбросов поллютантов в окружающую среду, стандартизация и т.п.).

Для определения и обоснования необходимых конкретных шагов по решению глобальной экологической проблемы следует рассмотреть её отдельные составляющие.

Мировой океан, акватория которого занимает две трети поверхности Земли, подвергается нарастающему антропогенному воздействию, последствия которого пока во многом неясны, но, несомненно, могут стать катастрофическими. В первую очередь речь идёт о загрязнении Мирового океана и о тех изменениях, которые станут следствием глобального потепления. Различают следующие виды загрязнений:

- механическое (сброс и смыв твёрдых отходов, долгое время не разлагающихся, прежде всего пластика);
- физическое (тепловое и радиационное);
- химическое (рост концентрации неорганических (минеральные соли, кислоты, щёлочи) и органических (нефть, нефтепродукты, органические остатки, стойкие органические соединения) вредных примесей);
- биологическое (распространение чужеродных видов – инвазия, интродукция).

По данным ЮНЕСКО, ежегодно в Мировой океан поступает порядка 10 млн т только пластиковых отходов, которые составляют 80% его совокупного загрязнения² (12.5 млн т). По альтерна-

тивным оценкам, объём сброса пластиковых отходов достигает 33 млрд фунтов в год³, то есть 15 млн т. Соответственно, совокупный сброс загрязняющих веществ увеличивается до 18.5 млн т. Экстраполяция нынешних тенденций показывает, что к 2040 г. эта цифра может утроиться. Общий же объём накопленных в океане пластиковых отходов оценивается почти в 200 млн т.

Уже сейчас антропогенное загрязнение Мирового океана вкупе с изменением климата вызывают негативные сдвиги в океанической биоте, возможный масштаб которых пока нельзя оценить. Дальнейшее нарастание загрязнения современными темпами может повлечь если не гибель, то столь значительное сокращение численности всех промысловых видов, что их массовая добыча станет невозможной. Потепление неизбежно вызовет повышение уровня Мирового океана, затопление огромных территорий и исчезновение десятков островных государств. Географические последствия затопления как функция величины повышения уровня Мирового океана хорошо изучены, а динамика аргумента функции зависит от средней глобальной приземной температуры, прогноз которой – главная задача климатологии.

Кроме того, затопление суши существенно усилит загрязнение океана и, соответственно, негативные изменения биоты, а также качественных характеристик океанических (морских) вод, что в свою очередь снизит их способность абсорбировать углекислоту, ускорит и увеличит потепление вод и далее – приземного воздуха. Таким образом, к 2040 г. риск расширения порочного круга взаимного усиления процессов загрязнения Мирового океана и глобального потепления будет расти.

Воды суши. Вода – это не только средообразующая субстанция, но и потребляемый сырьевой материал. При этом весьма многие водные объекты служат ещё и компонентами транспортной и рекреационной инфраструктуры, а также источниками гидроэнергии. Такая многофункциональность чрезвычайно осложняет управление водными ресурсами и их охрану. Общемировая водная проблема сочетает в себе локальные, региональные и глобальные факторы.

Локальные проблемы (в случае крупнейших водных объектов вырастающие до уровня региональных) касаются прежде всего загрязнения, которое обусловлено точечными и распределёнными (диффузными) источниками, а также масштабного риска устойчивому обеспечению местного населения качественной хозяйственно-питьевой водой.

² Ocean plastic pollution an overview: data and statistics. <https://oceanliteracy.unesco.org/plastic-pollution-ocean/>

³ <https://www.condorferries.co.uk/marine-ocean-pollution-statistics-facts>

Таблица 1. Обеспеченность водными ресурсами ряда стран в 2015 г., тыс. м³ на душу населения в год

Страна	Обеспеченность	Страна	Обеспеченность
Исландия	550	Австрия	9
Гайана	316	Украина	3
Республика Конго	236	Япония	3
Папуа – Новая Гвинея	170	Франция	3
Канада	87	ФРГ	2
Норвегия	77	КНР	2
Перу	66	Индия	2
Бразилия	42	ЮАР	1
Россия	32	Египет	0.7
Хорватия	24	Саудовская Аравия	0.1
Австралия	22	ОАЭ	0.03
США	10	Кувейт	0.007

Источник: [6].

Проблемы борьбы с загрязнением воды из точечных источников (непосредственно из неподвижных техногенных объектов, то есть через трубы и, в редких случаях, другие приспособления для сброса стоков, например желоба) сами по себе глобальными не становятся. Пути их решения в целом известны: либо строительство очистных сооружений, либо замена основного оборудования, производящего много жидких отходов (вода с растворёнными в ней загрязняющими веществами или взвешенными частицами поллютантов), на существенно более экологичное. Подавляющее большинство производств обладают такими технологическими возможностями, но замена оборудования и строительство очистных сооружений – дело весьма затратное⁴.

Принципиально более сложная задача – предотвращение диффузного загрязнения (сток с сельскохозяйственных полей, территорий населённых пунктов, промплощадок, дорог, портовых сооружений), на которое, кстати, приходится до 80% поступления загрязняющих веществ в Мировой океан. Здесь “посредником” между антропогенным источником и приёмником загрязнения выступает природная (или природно-антропогенная) система – поверхность с её экосистемами, почва, подземные воды, атмосфера. Измерение прямыми методами (контактными

приборами) как объёма поступающей загрязнённой воды, так и количества содержащихся в ней поллютантов в этом случае невозможно. Но эта информация необходима при выборе способов (инструментов) охраны вод и оценке их эффективности. Для получения данных требуются специальные методы, в том числе расчёты по компьютерным моделям. Учёт диффузного загрязнения обуславливает появление в системе управления охраной вод принципиально нового звена, требующего работы персонала высокой квалификации. Развитые государства достигли здесь впечатляющих результатов, тогда как в развивающихся странах этим до сих пор всерьёз практически не занимались. Дефицит финансовых средств и квалифицированных кадров в большинстве таких стран, очевидно, не позволит им добиться существенных сдвигов в снижении диффузного загрязнения водных объектов в течение ещё двух-трёх десятилетий.

Проблема обеспечения населения питьевой (или хозяйственно-питьевой) водой на самом деле является водохозяйственной (то есть производственно-экономической) и санитарно-эпидемиологической. Однако она столь сильно зависит от наличия источников, качества и объёма возобновляемых запасов воды, что её обычно относят к экологическим проблемам. Хорошо известно, что страны очень сильно различаются по обеспеченности водными ресурсами (соотношение объёма возобновляемых запасов к численности населения) (табл. 1). Максимальная обеспеченность в рейтинге превосходит минимальную почти в 80 тыс. раз! К 2040 г. около четверти населения

⁴ Например, ещё в конце 1980-х годов на предприятиях фармацевтической фирмы “Байер” в Леверкузене (Германия) стоимость очистного оборудования вместе с сооружениями, где оно размещено, составляла до 40% стоимости всех основных фондов.

Земли будут жить в условиях острого дефицита воды (“водного стресса”).

Вода большинства источников питьевого водоснабжения, особенно в развивающихся странах, загрязнена и требует специальной подготовки для подачи потребителю. Технологии очистки разнообразны, некоторые системы позволяют добиться приемлемого питьевого качества даже очень плохой забранной воды. Однако затраты на такую подготовку очень высоки и сопоставимы с опреснением морской. В каждой стране, где население страдает от непригодной к употреблению воды, есть своя критическая величина затрат на подготовку одного её кубометра. Превышение этого порога означает непомерные для людей расходы, что влечёт за собой антисанитарию и высокую инфекционную заболеваемость даже в тех развивающихся странах, где запасы воды на душу населения вполне достаточны (например, в Бразилии, занимающей первое место в мире по валовым запасам воды). По данным ВОЗ, около 30% общей заболеваемости обусловлено антисанитарией и неудовлетворительным хозяйственно-питьевым водоснабжением.

Региональные и глобальные проблемы связаны прежде всего с тем обстоятельством, что более 70% воды, которая забирается из источников во всём мире, идёт на орошаемое земледелие. Спрос на продовольствие, а следовательно, на воду для полива будет расти вместе с численностью населения (которая стабилизируется не ранее 2050 г.) и повышением его требований к уровню благосостояния и качеству жизни. Но к середине века, как ожидается, не останется не вовлечённой в хозяйство экономически доступной пресной воды. Эту острокризисную ситуацию можно было бы предотвратить массовым переходом в развивающихся странах к новым технологиям орошения, гораздо менее водоёмким, чем традиционные (в первую очередь к подземному капельному орошению). Но такому переходу, как всегда, препятствуют дефицит финансовых средств (новые технологии весьма капиталоемкие) и отсутствие кадров надлежащей квалификации. Именно в этой точке высвечивается глобальный водный кризис, о котором гидрологи начали говорить ещё в 1990-х годах.

Ситуация почти не меняется, несмотря на многочисленные кампании (декады) и мероприятия, инициированные ООН и её структурами для решения проблем воды и водных ресурсов. Развитые страны не желают помогать развивающимся ни финансированием, ни передачей технологий, ни реализацией образовательных программ, что влечёт за собой в том числе и продовольственные проблемы. Всё в полном соответствии с законами классической рыночной экономики: капитал должен давать хотя бы нормальную прибыль, тех-

нология передаётся только тогда, когда это приносит какие-либо выгоды (формирование рынка сбыта, перенос ресурсоёмких и загрязняющих среду производств, политическая зависимость получателя и т.п.), кадры готовятся только в случае, если значительная их часть переселяется в обучившую их страну.

Территориальное перераспределение водных ресурсов путём строительства каналов (или водоводов) для подачи воды от доноров реципиентам и водохранилищ, демпфирующих неравномерность речного стока (перехват половодий и паводков), как представляется, существенного вклада в решение глобальной водной проблемы внести не может. Идеи новых сооружений для межбассейновой переброски воды выдвигаются, обсуждаются, иногда проектируются и реализуются, но это чрезвычайно дорогостоящие долгострои, причём в большинстве своём весьма экологически рискованные. Поэтому экспертиза здесь становится более жёсткой, а негативное отношение общественности к подобным проектам – всё более организованным и обоснованным. Дальность таких перебросок вряд ли будет превышать 300–400 км, кроме того, почти наверняка вместо каналов будут использоваться водоводы.

Воздух и экологическая обстановка в городах. Загрязнение воздуха, подчас катастрофическое – не глобальная проблема как таковая, а совокупность локальных и, изредка, региональных проблем. Плохое качество воздуха типично для больших городов, нередко средних, а также для территорий вблизи крупных предприятий, дающих огромные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Загрязнение воздуха – существенная причина ухудшения здоровья населения. В городах, особенно в мегаполисах, оно является главным экологическим фактором преждевременной смертности. Её масштабы (с учётом загрязнения воздуха внутренних помещений, в первую очередь кухонь, где для приготовления пищи используются печи на угле, дровах и кизяке) достигают 9 млн человек в год (прежде всего в Индии и Китае). Однако и в Европе, уже по причине загрязнения атмосферы транспортом и промышленностью, величина дополнительной смертности превышает 320 тыс. человек в год [7–9].

Подходы к решению таких локальных и региональных проблем известны: замена традиционных энергоносителей газом и электричеством; использование очистного оборудования (скрубберов и др.), замена основного производственного оборудования, включая двигатели внутреннего сгорания на автотранспорте, на более экологичное (в том числе переход к электромобилям, в меньшей степени – на природный газ; в промышленности – на технологии замкнутого производственного цикла). Проблема, как обычно, заклю-

чается в финансировании природоохранных мероприятий и для большинства развивающихся стран пока остаётся неразрешимой. Следует ожидать, что в течение двух-трёх десятилетий ситуация принципиально не изменится, хотя, конечно, в отдельных странах (в Китае, вероятно, Индии и ЮАР) и отраслях существенные сдвиги неизбежны.

Биоразнообразие. С экологической точки зрения сокращение биоразнообразия — главная проблема. Если оно сохраняется, значит, жизнь продолжается, если критически уменьшается — человеку грозит вымирание вместе с большей частью всей остальной биоты. Экономически ориентированные специалисты часто говорят о том, что биоразнообразие — это некий генетический банк, из которого можно взять то, что понадобится (а когда-нибудь может понадобиться всё что угодно). Очень распространена точка зрения, что главное в сохранении биоразнообразия — сбережение редких видов животных и растений для будущих поколений. Но дело не в этих, зачастую символизирующих красоту земной природы, представителях растительного и животного мира. Ядро, основа биоразнообразия — в фито- и зоопланктоне пресных водоёмов и Мирового океана, в почвенной биоте, в строителях органического фундамента жизни на Земле. В одном кубическом сантиметре почвы обитает миллион (!) организмов и столько же — в аналогичном объёме тёплой (10–40°C) пресной или морской воды. Именно там, на нижних ветвях древа жизни сокращение биоразнообразия происходит в массовом масштабе и наиболее критично.

Однако в обществе (включая международные деловые и политические круги, средства массовой информации) нет понимания этого факта, как и осознания того, зачем нужно сохранять биоразнообразие. Главное: биоразнообразие обеспечивает стабильность биоты, то есть устойчивость биосферы ко всевозможным внешним и внутренним возмущающим воздействиям, в том числе антропогенным. Последние, как известно, оказались гораздо губительнее, чем влияние геологических, космических и любых других сил. Сокращение биоразнообразия, которое происходит небывалыми темпами, лишает региональные и глобальную экосистемы устойчивости, сбалансированности, что намного опаснее рисков глобального потепления. В то же время потепление и, шире, планетарное изменение климата вносят свою заметную и опасную лепту в сокращение биоразнообразия, которое рискует в этом случае превратиться в катастрофическое. Согласно недавнему докладу МГЭИК [10], ряд арктических, прибрежных, водно-болотных и некоторых других экосистем уже достигли предела, понеся безвозвратные потери в биоразнообразии, утратили адаптационный потенциал.

Связь преобразований климата с биоразнообразием многим непонятна. Но, как уже отмечалось выше в отношении ситуации с Мировым океаном, изменение климата влечёт за собой перестройку биоты, которая, в свою очередь, сопровождается негативными последствиями для биоразнообразия, так и для условий хозяйствования, прежде всего в аграрном и лесном комплексах (хотя возможны и положительные для экономики моменты). Примерно 20 лет назад одним из авторов данной статьи высказывались опасения, что глобальное потепление может сопровождаться возникновением, пусть даже редким, волн холода, более низкотемпературных, чем привычные для нас [11]. Тогда многие климатологи-классики (в том числе члены Совета-семинара при президенте РАН) отвергали эти опасения на том основании, что для подобных заключений отсутствовали необходимые статистические данные. Однако сейчас они есть, и наблюдаемые в последние годы негативные явления это подтверждают.

Такое проявление “нервозности” климата — тяжёлое испытание для экосистем, каждая из которых располагается в своём биотопе (абиотической подсистеме), а между биоценозом и биотопом существует гармония. Климатические изменения, потепление нарушают это равновесие, причём в ситуации, когда ещё не сформировались условия, соответствующие потребностям биологических видов, которые составляют замещающую экосистему. Для одних (вселяющихся) волны холода (пусть даже и очень редкие) представляют смертельную опасность, и они исчезают, не успев закрепиться на новом месте. Другим (вытесняемым) становится слишком жарко, и они вымирают, пытаясь сохраниться при перемещении в более прохладные места, которые раньше были для них чрезмерно холодными. Конечно, описанная картина — большое упрощение; на самом деле экосистемы не только перемешаются (смешаются), но и эволюционируют. Однако суть дела не меняется: все экосистемы, испытывающие воздействие существенных изменений климата, будут в стрессе, смягчение которого благодаря скорости эволюционного приспособления экосистемы к новым условиям прямо зависит от биоразнообразия её биоценоза, то есть от богатства генетического фонда.

Сильные воздействия на биоценоз экосистемы, не меняющие её биотопа (лесной, степной, торфяной, тундровый пожар, временное затопление, экстраординарная засуха и т.п.), запускают в ней процесс вторичной (восстановительной) сукцессии, то есть последовательного прохождения стадий, для каждой из которых характерна своя организация (соотношения видов по численности) биоценоза, пока не восстановится первоначальная структура. На месте сгоревшего ельника при неизменных абиотических условиях вырастет

такой же ельник (с такими же подлеском, почвой, животным миром) — лет через 200—400. Но сначала в рост пойдут “неизвестно откуда” взявшиеся берёзки со своим подлеском, состоящим из “неизвестно откуда” взявшихся видов кустарников и травянистых растений. На самом деле отдельные представители этих “новых” видов растительности всегда были частью ельника, но в условиях стационарного древостоя были незаметны среди его доминантных видов. Это и есть необходимое биоразнообразие, обеспечивающее адекватную восстановительную реакцию на сильное возмущение (пожар) экосистемы.

Будучи, с точки зрения экологов, самой главной экологической проблемой, сокращение биоразнообразия пользуется наименьшим вниманием со стороны лиц, принимающих решения, особенно в сфере бизнеса. Почему так происходит? Представляется, что главная причина заключается в особой уязвимости “сферы живого” к последствиям деятельности человека, почти любая активность которого влечёт за собой сокращение биоразнообразия. Следовательно, очень непросто найти альтернативу, которая обеспечивала бы максимальное снижение риска устойчивости биосферы за приемлемую для бизнеса цену, включая прибыль — для этого нужны действительно большие усилия (в том числе капиталовложения) и незаурядные воля и способности.

Намного проще решать проблему истощения озонового слоя, число источников и факторов которой, в отличие от сокращения биоразнообразия, ограничено всего 40 химическими соединениями (с учётом тех, которые никогда не покидали стены лабораторий) из миллиона известных химикам и десятков тысяч используемых на производствах. Сходная ситуация с антропогенным воздействием на климат и его изменением: из всех видов такого воздействия на климатическую систему козлом отпущения определена эмиссия парниковых газов, основной источник которой — сжигание углеводородного топлива. Поэтому поиск альтернатив не занял много времени как в случае хладагентов, так и ископаемого топлива, заместители которых были хорошо известны, прежде всего корпорациям-конкурентам: химическому гиганту “Дюпон” (США) и электроэнергетическим компаниям из Европы, США и Китая — лидерам в сфере солнечной, ветровой, атомной энергетики, в области энергосбережения и электротранспорта. При институциональной (в первую очередь законодательной) поддержке бизнесом “зелёных” политических кругов были успешно сформированы новые рыночные ниши и финансовые инструменты для получения огромных прибылей, на сей раз якобы для защиты климата и окружающей среды. Однако на самом деле последствия для экологии и климата (да и для экономики и социума) творцов указан-

ного механизма не интересуют, им нужен лишь результат в виде растущих денежных и политических дивидендов.

В связи с этим закономерно, что деловые люди и поддерживающие их политический истеблишмент и СМИ, прежде всего в развитых экономиках, всё активнее подменяют системное решение глобальных проблем конкурентной борьбой за углеродные рынки, а в дискуссиях всё реже используют термины “температура” и “концентрация парниковых газов”, и чаще — “углеродные единицы”. При этом далеко на заднем плане остаётся коммерчески непонятная и потому неинтересная бизнесу фундаментальная (а в конечном счёте — экзистенциальная) проблема сохранения биоразнообразия. Отсутствие экономического интереса к данной проблеме как к способу хорошо заработать на её решении приводит к тому, что сбережение биоразнообразия стало делом энтузиастов-бессребренников. Что касается развития экологического туризма, то оно способно внести лишь очень ограниченный вклад в решение проблемы, причём только при условии выполнения данной сферой своей эколого-образовательной функции, что происходит, мягко говоря, далеко не всегда.

Попытки административно управлять деятельностью по сохранению биоразнообразия сводятся к организации особо охраняемых природных территорий и обеспечению их функционирования, что необходимо, но совершенно недостаточно. Во многих странах активно ведутся научные исследования сохранения биоразнообразия, в том числе при государственной поддержке. Но главная задача состоит именно в том, чтобы найти способы экономического управления охранной деятельностью: если они будут найдены, то станет гораздо легче решать и другие экологические проблемы (климатические, водные и др.).

Индифферентность бизнеса и, в значительной мере, населения в отношении проблемы сохранения биоразнообразия, а в ещё большей степени — отсутствие осязаемых продвижений в её решении, серьёзно беспокоят учёных, экологов-активистов, вслед за ними — ООН. Общеизвестно, что это один из ключевых вызовов, поставленный в мировую повестку самыми разнообразными документами, в частности докладом по глобальным рискам [12]. Цели устойчивого развития ООН, которые, по сути (цель № 14) и по формулировке (цель № 15) прямо касаются сохранения биоразнообразия, ставятся исключительно остро. И хотя в “Повестке развития 2030” и детализирующих её документах ООН подчёркивается, что успехам в достижении этих целей должны соответствовать исключительно сильные мультипликаторы, связанные с достижением всех остальных целей, задача интернализации (учёта и экономической

оценки) внешних эффектов для сохранения биоразнообразия (включая экосистемный уровень) внятно так нигде и не поставлена.

Едва ли не главное препятствие на пути решения глобальных, региональных и национальных экологических проблем — низкая экологическая и общая культура населения. И хотя в разных странах дела обстоят по-разному, а стандартные показатели в ряде государств регистрируют достаточно высокий уровень образования населения, общий уровень культуры остаётся невысоким. Да и высокая общая культура не всегда свидетельствует о наличии культуры экологической. Лёгкость, с которой можно проигнорировать (по сути, предать) экологические (а заодно и социально-экономические) интересы своей страны, заменив, пусть и частично, природный газ на уголь, продемонстрировала Германия в 2022 г., и это лишь один из печальных примеров, которым на деле несть числа. Элиты полностью забывают о своих экологических обещаниях, пренебрегают ими в угоду экономическим или политическим выгодам, часто мнимым.

Климат. Антропогенное изменение климата, в том числе более частые и интенсивные экстремальные явления, вызвало широкомасштабные неблагоприятные воздействия, выходящие за естественные рамки, и связанные с ними потери и ущерб для природы и людей. Риски становятся всё более сложными для управления, особенно в условиях их усиливающегося взаимодействия друг с другом и неклиматическими угрозами, что в итоге приведёт к их каскадному распространению в секторах экономики и регионах мира и росту интегрального ущерба [10]. При этом некоторые меры реагирования на изменение климата могут привести к новым опасностям.

Отмечая прогресс в планировании и осуществлении мер адаптации во всём мире за прошедшие 20 лет, следует констатировать, что достигнутые результаты значительно отстают, во-первых, от потребностей населения и экономик в снижении уязвимости, потерь и ущерба от негативных последствий климатических изменений (особенно велик этот разрыв в развивающихся странах); во-вторых, от темпов и масштабов (в том числе многократно — по финансированию соответствующих программ) ускоренной декарбонизации экономики, которой в развитых странах (и под их влиянием мировым сообществом в целом) отдан бесспорный приоритет в международной политике в области климата [13, 14]. Такой подход, помимо прочего, уменьшает возможности трансформационной адаптации экономики благодаря целенаправленной политике её структурной и технологической модернизации с учётом природной и социально-экономической специфики конкретных стран и регионов [10].

При сохранении текущего положения дел в ближайшие годы, принимая во внимание значительную инерционность рассматриваемых процессов, в перспективе на 20–30 лет по мере усиления глобального потепления правомерно ожидать снижения эффективности адаптации к изменениям климата конкретных секторов, а также населения и экосистем регионов, особенно с учётом фиксируемого МГЭИК учащения свидетельств неудачной или неэффективной адаптации (*maladaptation*). Это обуславливает рост потерь и ущерба для мировой экономики, наибольшее бремя которых будут нести, как и прежде, развивающиеся (особенно наименее развитые) страны, и достижение пределов адаптации всё большим числом антропогенных и природных систем.

МГЭИК связывает эффективность адаптации с “интегрированными, межотраслевыми решениями, направленными на устранение социального неравенства, на дифференцирование ответов на климатические риски и охват ими (решениями. — *Авт.*) разных систем” [10, р. 23]. Учитывая вышеупомянутую инерционность рассматриваемых процессов, а также текущий геополитический и геоэкономический кризис (“длинная тень” последствий которого для мировой экономики, очевидно, будет простираться далеко за пределы 2025 г.), такая перспектива представляется маловероятной для периода в 20 лет. Реалистичность сохраняется лишь для отдельных секторов и государств, возможно, стран Персидского залива, располагающих финансовыми ресурсами и вкладывающих их растущие объёмы в природосберегающие, в том числе адаптационные, технологии.

Перечисленные выше климатические изменения, включая волны тепла в Мировом океане, приведут к усилению воздействия на экосистемы океана и суши (в частности, на крупнейшие лесные массивы из-за засух и лесных пожаров), которые уже испытывают ощутимый стресс, усугубляющийся возрастающим антропогенным (техногенным) влиянием. Это ускорит сокращение биоразнообразия и поглощения выбросов парниковых газов в объёме, составляющем более трети от снижения выбросов, которое необходимо для неперевышения глобальным потеплением порога 2°C к концу XXI в. [15].

Через полтора-два десятилетия также усилится воздействие климатических изменений на водные и продовольственные ресурсы, находящиеся под угрозой в ряде регионов, что будет сопровождаться дополнительными рисками конфликтов и миграции, а также угрозами здоровью населения и экономике. Последние включают:

- рост заболеваемости и смертности от инфекционных болезней и волн жары, особенно в раз-

живающихся странах Азии и Африки (даже в мегаполисах);

- торможение производства и снижение производительности труда, в том числе в сельском хозяйстве, особенно в государствах тропического пояса;
- разрушение инфраструктуры и зданий из-за деградации многолетнемерзлых грунтов в Арктике;
- риски для гидроэнергетики и речного судоходства из-за засух в зоне умеренного климата, включая Европу.

Перечисленные последствия глобального изменения климата будут сопровождаться увеличением числа бедных (по оценкам, на 132 млн человек уже в следующем десятилетии), и к 2050 г. 216 млн будут вынуждены сменить место жительства по этим причинам [16, 17]. Это усилит риски и вызовы для здравоохранения, агропродовольственного, строительного, транспортного и энергетического секторов экономики и в целом нагрузку на социальный сектор практически всех стран.

Некоторые из эффектов будут противоречивы. Например, в Арктике глобальное потепление, обуславливая сокращение ледяного покрова, улучшает условия судоходства, а в целом в северных широтах – приведёт к повышению комфортности и снижению продолжительности отопительного сезона и затрат на отопление. Однако для того чтобы воспользоваться этими возможностями, нужны соответствующие знания и технологии, которые пока наличествуют далеко не в полной мере и которые за 15–20 лет нужно сформировать. Это, в свою очередь, создаёт вызовы для многих государств, прежде всего в сфере научно-технологической и социально-экономической политики (включая реформы в сфере образования и науки), которая призвана смягчить негативные последствия изменений климата. Сохранение, а скорее всего, углубление дифференциации государств по уровню развития и степени их готовности ответить на упомянутый климатический вызов, потребует наращивания усилий всего международного сообщества с целью налаживания сотрудничества между странами, развития институтов (правовой базы, планирования, страхования и т.д.) и научно-технологического взаимодействия.

Ответом мирового сообщества на глобальный климатический вызов выступает принятая и активно развиваемая климатическая политика, которая за последние 30 лет, прошедшие с принятия её базового стратегического документа (Рамочная конвенция ООН по изменению климата, РКИК), превратилась в одну из главных составляющих системы международных отношений. С целью её развития был принят ряд основополагающих документов, прежде всего Парижское соглашение

по климату (2015). Сохраняя в качестве целевого ориентира непревышение к концу века по сравнению с доиндустриальной эпохой температурного порога в 2°C (позднее сниженного до 1.5°C), содержание и механизм осуществления этой политики за последние годы претерпели значительную метаморфозу.

В Парижском соглашении один из принципов политики отдельных государств и мирового сообщества в целом в отношении климатических преобразований предусматривает равную значимость стратегий развития с низким уровнем эмиссий парниковых газов и реализующего их комплекса мер по сокращению нетто-выбросов парниковых газов, с одной стороны, и планирования и реализации национальных планов адаптации населения и экономики к изменениям климата, с другой, а также необходимость интеграции этих мер в стратегию устойчивого развития, ключевые цели которой определены Повесткой дня ООН в области устойчивого развития на период до 2030 г.

Однако с начала 2020-х годов эти принципы уступили место однозначному приоритету стратегий низкоуглеродного развития, которые далее были трансформированы в так называемые углерод-нейтральные, или нетто-нулевые (Net Zero) стратегии, предусматривающие достижение к середине века нулевого баланса между эмиссией парниковых газов и их поглощением за счёт энергоперехода с упором на резкое повышение роли возобновляемых источников энергии и электротранспорта. Об участии “в гонке за нулём” заявили 130 стран. В их числе 68 ведущих экономик, на которые приходится 91% мирового ВВП и 89% выбросов парниковых газов и где эти стратегии приняты официально либо закреплены законодательно. При этом представители ряда государств призывают не засчитывать потенциал поглощения углерода (главным образом природными экосистемами, в первую очередь лесами) и добиваться “чистого нуля” – по сути, полной декарбонизации, или безуглеродной экономики. Показательно, что даже большинство политиков и экспертов из развитых стран, которые придерживаются более взвешенной нетто-нулевой концепции, в лучшем случае лишь вскользь упоминают адаптацию, а те, кто выступает за активное использование управления экосистемами как “естественный, природный” способ решения климатической проблемы (natural solutions), подчёркивают его приоритет для снижения нетто-выбросов парниковых газов, отодвигая адаптацию далеко на задний план.

На этом фоне выступления генерального секретаря ООН в 2021 г., дискуссии на конференциях сторон РКИК в 2021–2022 гг. (COP-26 в Глазго и COP-27 в Шарм-эш-Шейхе), принятые по их

результатам итоговые документы, выразившие стремление к повышению роли адаптации населения и экономики к изменениям климата, внесли лишь некоторое оживление, но не поменяли статуса адаптации как “падчерицы” климатической политики, сохранив её однозначный и мощный крен в сторону Net Zero.

В результате отчётливо прослеживается тенденция превращения декарбонизации экономики и энергетики (как одного из ключевых направлений и механизмов реализации климатической политики и энергоперехода) в неоспоримый стратегический приоритет. Этот приоритет сохраняется и в существенно более широком контексте стратегии устойчивого развития мирового сообщества, из 17 целей которого так называемой “борьбе с изменением климата” многие политики и эксперты, прежде всего из стран “Большой семёрки” и связанных с ними международных организаций, консалтинговых и деловых сообществ (например, Всемирного банка, Международного валютного фонда, Всемирного экономического форума и др.), отдают однозначное предпочтение, причём как в кратко- и среднесрочной (до 5 лет), так и долгосрочной перспективе (более 10 лет) [12].

Представляется, что эта тенденция сохранится лет на 20, учитывая вышеупомянутые стратегии нетто-нулевой декарбонизации, в которые уже вложены огромные (и будут инвестированы ещё большие) средства. За указанной тенденцией стоят мощные интересы ведущих экономик, прежде всего ЕС и США, она определяет дизайн и приоритеты мировой климатической политики.

В то же время избыточная амбициозность целей глобальной стратегии для подавляющего числа стран, в том числе отдельных развитых экономик, очевидно, будет требовать внесения в национальные программы действий корректив. Уже сейчас:

- отодвигаются сроки реализации стратегии: в ряде стран они смещены за пределы 2050 г. (на 2060, 2070 г. и даже позднее); другие страны из-за резких изменений в геоэкономической ситуации сдвигают их на 2035 г. и далее, а промежуточные цели – на 2030 г.;

- изменяется тактика реализации стратегии, почти безграничный приоритет возобновляемых источников энергии и электротранспорта частично смягчается за счёт инвестиций в проекты улучшения использования земельных и лесных ресурсов и сохранения биоразнообразия, особенно в развивающихся странах.

Кроме того, через 15–20 лет (или раньше) можно ожидать некоторого повышения статуса программ адаптации, инвестиций в них в первую очередь вследствие растущего социально-экономического ущерба и потерь в результате неизбеж-

ных будущих бедствий гидрометеорологического характера и необходимости их купировать. Однако, скорее всего, это осуществимо для отдельных, наиболее уязвимых и менее развитых государств и вряд ли изменит общемировую картину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stockholm Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment. 1972. <https://stockholmdeclaration.org/about/>
2. IPCC, 2021: Summary for Policymakers // Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, N.Y.: Cambridge University Press, 2021. P. 3–32. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
3. Niccolucci V., Pulselli F., Tiezzi M.E. Strengthening the threshold hypothesis: Economic and biophysical limits to growth // Ecological Economics. 2007. V. 60. P. 667–672.
4. Rockström J., Steffen W., Noone K. et al. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity // Ecology and Society. 2009. V. 14 (2). Art. 32.
5. Rockström J., Gupta J., Qin D. et al. Safe and just Earth system boundaries // Nature. 2023. V. 619 (7968). P. 102–111.
6. UNESCO’s Contribution to the UN World Water Development Report. 2015. Facing the Challenges. Case Studies and Indicators. <https://unesdoc.unesco.org/images/0023/002321/232179E.pdf>
7. https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf
8. State of Global Air 2020. Special Report. Boston: Health Effects Institute, 2020. <https://www.stateofglobalair.org/>
9. Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions “First ‘Zero pollution’ Monitoring and Outlook: Pathways towards cleaner air, water and soil for Europe”. 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0674>
10. IPCC, 2022: Summary for Policymakers // Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, N.Y.: Cambridge University Press, 2022.
11. Health impact of Air Quality in Europe 2022. European Environmental Agency (EEA) Web Report 2022. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution>
12. Данилов-Данильян В.И. Экологические, экономические и политические аспекты проблемы Киотского протокола // Возможности предотвращения изменений климата и его негативных последствий. Проблема Киотского протокола: материалы Совета-семинара при президенте РАН / Под ред. Ю.А. Израэля. М.: Наука, 2006.

13. The Global Risks Report 2023. World Economic Forum 2023.
<https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2023>
14. United Nations Environment Programme. Adaptation Gap Report 2022: Too Little, Too Slow – Climate adaptation failure puts world at risk. Nairobi, 2022.
<https://www.unep.org/adaptation-gap-report-2022>
15. Порфирьев Б.Н. Декарбонизация versus адаптация экономики к климатическим изменениям в стратегии устойчивого развития // Проблемы прогнозирования. 2022. № 4. С. 45–54.
16. Deutz A., Heal G.M., Niu R. et al. Financing Nature: Closing the global biodiversity financing gap. The Paulson Institute, The Nature Conservancy, and the Cornell Atkinson Center for Sustainability, 2020.
17. Acting on Internal Climate Migration // Доклад Всемирного банка Groundswell. 2021.
<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/2c9150df-52c3-58ed-9075-d78ea56c3267>

ECOLOGY AND CLIMATE: WHERE WE ARE NOW AND WHERE WE WILL BE IN TWO OR THREE DECADES. *GLOBAL TRENDS*

V. I. Danilov-Danilyan^{1,#}, V. M. Kattsov^{2,##}, and B. N. Porfiriev^{3,###}

¹*Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*Voeikov Main Geophysical Observatory of the Roshydromet, St. Petersburg, Russia*

³*Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[#]*E-mail: vidd38@yandex.ru*

^{##}*E-mail: director@main.mgo.rssi.ru*

^{###}*E-mail: b_porfiriev@mail.ru*

The article is the first of the two contributions based upon the authors' studies and reports provided to Horizon-2040. The latter is a project organized by the Agency for Strategic Initiatives serving a platform for strategic dialogue to determine the role and position of Russia in the international arena in 2040 and produce scenarios for the national long-term development trends in the key areas, environment and climate inclusive. The current state of the global environmental and climate change issues is contemplated. Also considered is dynamics of these issues within the past 50 years in terms of the global sustainable development priorities. A qualitative forecast of the state and expected developments in coping with the issues above by 2040 is introduced. The key challenges associated with the World Ocean, land waters, air quality, environmental situation in the cities, climate and biodiversity issues are briefly discussed. The priority strategic role of biodiversity in sustainable development of the world community and economy within the long term perspective is substantiated. Emphasized arwpoor understanding and under-evaluation of adaptation policy role in the global climate agenda. Distinguished are the four types of key events according to their contribution to the *homo ecologicus* formation. Also disclosed are the four key factors precipitating the existing poor situation in environmental and climate policy areas and tendencies of their further deterioration which (factors) involve public awareness, value system and human activity attitudes.

Keywords: ecology, ecological culture, biodiversity, climate, economy, adaptation.

ПРОЦЕССЫ ГЛОБАЛИЗАЦИИ И ДЕГЛОБАЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ НАРАСТАЮЩЕГО ПРОТИВОСТОЯНИЯ США И КНР И ИНТЕРЕСЫ РОССИИ

© 2023 г. А. А. Кокошин^{a,b,*}, З. А. Кокошина^{c,**}

^aИнститут перспективных стратегических исследований НИУ ВШЭ, Москва, Россия

^bФакультет мировой политики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^cИнститут социологии Федерального научно-исследовательского социологического центра РАН, Москва, Россия

*E-mail: aakokoshin@gmail.com

**E-mail: zlata.kokoshina77@gmail.com

Поступила в редакцию 09.07.2023 г.

После доработки 17.08.2023 г.

Принята к публикации 31.08.2023 г.

По мнению авторов статьи, вопросы глобализации и деглобализации необходимо рассматривать прежде всего сквозь призму нарастающего противоборства двух крупнейших государств мира — США и КНР. Масштабность и глубина этого противостояния нарастают; оно приобретает всё более идеологизированный, а также политико-военный характер. Соединённые Штаты, прежде всего в силу сложного комплекса внутренних проблем, выступают сейчас главной движущей силой деглобализации, хотя ещё 25–30 лет назад именно эта страна была в авангарде обратного процесса — глобализации. Напротив, руководство КНР, которая получила большие выгоды от участия в экономической глобализации, в том числе в рамках Всемирной торговой организации, настойчиво демонстрирует свою приверженность растущей экономической взаимозависимости стран и регионов. Эта приверженность отмечена в том числе в российско-китайских документах высшего уровня. Процессы глобализации и деглобализации имеют большое значение для социально-экономического развития России, экономика которой является частью мирового хозяйства, несмотря на все антироссийские усилия коллективного Запада в рамках его гибридной войны против РФ.

Ключевые слова: глобализация, деглобализация, геополитическое противоборство, научно-технологическое соперничество, протекционизм, социально-экономическое развитие, глобальные цепочки добавленной стоимости, интересы России, новая социальная реальность России.

DOI: 10.31857/S0869587323100080, EDN: IHLMNU



КОКОШИН Андрей Афанасьевич — академик РАН, директор ИПСИ НИУ ВШЭ, заведующий кафедрой международной безопасности Факультета мировой политики МГУ им. М.В. Ломоносова. КОКОШИНА Злата Андреевна — научный сотрудник ИС ФНИСЦ РАН.

Обобщая различные формулы глобализации как явления в её экономическом и технологическом измерении, представленные в ряде отечественных и зарубежных трудов, можно выделить следующие её черты:

- рост взаимосвязанности и взаимозависимости мировых финансовых рынков, валют, банков за счёт снижения барьеров на пути трансграничного движения товаров и услуг (в том числе финансовых операций);
- развитие глобальных рынков энергоносителей и продовольствия;
- стремительное развитие киберпространства и глобальной информационной среды благодаря Интернету, приложениям, СМИ;

- развитие торговых и пассажирских транспортных систем (со значительным сокращением стоимости транспортировки и устранением барьеров на пути трансграничных потоков товаров, услуг, капитала, знаний и людей);
- нарастание туристических потоков;
- рост мировой миграции;
- создание глобальных цепочек добавленной стоимости – применительно к электронике, производству автомобилей, судостроению, станкостроению и др.

Однако понятие “глобализация” используется и в более широкой трактовке – с охватом экономических, социальных и культурных изменений внутри отдельных государств под влиянием процессов, происходящих в мире. Но это отдельная тема, требующая специальных исследований, огромных объёмов данных и многопрофильных коллективов.

В настоящее время тенденции глобализации – деглобализации во многом являются производными от динамики соотношения сил и взаимоотношений двух самых крупных государств и двух ведущих экономик мира – США и КНР. На этом и сосредоточено основное внимание в настоящей статье.

ГЛОБАЛИЗАЦИЯ В КОНЦЕ XX – НАЧАЛЕ XXI вв.

Некоторые отечественные и зарубежные исследователи указывают на то, что глобализация имеет глубокие исторические корни, что одна из её предыдущих волн имела место во второй половине XIX – начале XX в., до Первой мировой войны. Эта точка зрения имеет право на существование, но требует отдельного рассмотрения.

Начало современного нам этапа глобализации многие связывают с экономической политикой президента США Р. Рейгана и британского премьер-министра М. Тэтчер в 1980-е годы, а затем с периодом после распада СССР, когда США остались на определённый исторический период единственной сверхдержавой. Как справедливо отметил В.Б. Кувалдин, “никогда со времён Римской империи ни одно государство не играло столь значительной роли в мировой истории, как США в течение двух десятилетий после окончания холодной войны” [1, с. 9].

Для того периода характерен ренессанс либеральных идей в экономической политике наиболее развитых государств. Кейнсианская парадигма сменилась неолиберальной экономической моделью, которая предполагает: уменьшение роли государства, дерегулирование, приватизацию, снижение налогов, сокращение программ социального обеспечения, стимулирование экономического роста и т.д. Неолиберальные идеи стали

играть всё более важную роль во внешней политике многих государств, начиная с США, и в политике международных экономических организаций [2, с. 94]. Преобладание нелиберальных идей в тот период связано, по мнению Ал.А. Громыко, с исчезновением социалистической альтернативы вследствие распада Советского Союза и всей социалистической системы. Противостоять неолиберальной волне не смогла – ни теоретически, ни практически – и другая, умеренная альтернатива – европейский “третий путь” (также “средний путь”), опиравшийся на принцип социального рынка и государства благосостояния [3, с. 20].

Фактически под контролем США в конце XX столетия оказались такие важные международные организации, как Всемирный банк (ВБ), Международный валютный фонд (МВФ), а также Всемирная торговая организация (ВТО), преобразованная в 1994 г. из ГАТТ – Генерального соглашения по тарифам и торговле. ВТО была прежде всего ориентирована на распространение режима свободной торговли, выгодного в то время главным образом для США. Эти крупные институты стали важными инструментами глобализации.

Под влиянием упомянутых организаций (а фактически под влиянием США) оказались многие государства, в том числе Российская Федерация и другие постсоветские страны. Немало политиков, учёных, СМИ поддерживали идею глобализации, которая рассматривалась тогда как безальтернативный нарастающий процесс, имеющий разнообразные и глубокие социально-политические и социокультурные последствия, охватывающие обозримую перспективу в будущем.

В 1990-е годы глобализация стала и очень важной западной идеологией, причём довольно агрессивного толка. В доминировавшей либеральной мысли активно развивались такие темы, как глобальное гражданское общество и мировое управление. Распространение идеи глобализации сопровождалось навязываем американской модели социально-политического развития, характерных для этой страны культурных, экономических и политических ценностей, которые якобы должны стать образцом для остального мира [4, с. 51, 52].

С начала 1990-х годов глобализация «идеологически ассоциировалась с триумфом политического либерализма и рассматривалась как механизм распространения норм и ценностей либерализма за пределы “исторического Запада” на весь остальной мир» [5, с. 4]. К концу правления Б. Клинтона ставка на глобализацию стала полуофициальной внешнеполитической доктриной США. В то же время начали проявляться негативные стороны этого процесса для многих стран и сотен миллионов людей, включая сами Соединённые Штаты [6, с. 31].

В 1990-е годы широкое распространение получили представления о размывании границ государства, об уходе нации-государства на вторые роли в мировой политике и передаче его функций другим субъектам, в первую очередь транснациональным корпорациям.

Следует отметить, что в важнейших международно-правовых документах, признаваемых Российской Федерацией, а также в практике мировой политики уже на протяжении многих десятилетий понятие “нация” (nation) используется как синоним суверенного государства. В современных условиях нация — это сформировавшееся гражданское общество и политическая общность в определённых государственных границах на определённой территории. То есть речь идёт о крупных социально-политических организациях, имеющих свои историю и традиции. Производными от понятия “нация-государство” являются такие исключительно важные концепты, как “национальные интересы” и “национальная безопасность”, активно используемые практически всеми государствами и политическими лидерами при проведении в том числе той или иной линии применительно к проблеме глобализации и деглобализации. А.Д. Богатуров обоснованно обратил внимание на то, что “идея отмирания суверенитета, пассивно принятая было российской властью в 1990-х гг., в начале 2000-х гг. стала ею активно отвергаться” [7, с. 205].

В период подъёма глобализации её мировыми адептами подчёркивалась возросшая роль негосударственных международных организаций, активных во многих областях (гуманитарной, в области обеспечения прав человека и др.). А значит, ставились под вопрос суверенные права государства. Утверждалось, что суверенитет в духе принципов Вестфальской системы утрачивает своё значение. Одному из авторов данной статьи неоднократно приходилось доказывать несостоятельность теории (гипотезы), в соответствии с которой в ходе глобализации уходит в прошлое ключевое значение нации-государства и реального суверенитета, что на место этих субъектов мировой политики (не только мировой экономики) приходят ТНК и другие негосударственные акторы [8, с. 1090–1097].

В качестве доводов в пользу десоверенизации многих крупных, средних и небольших государств приводился пример Европейского Союза, возникшего в 1992 г. в результате достижения Маастрихтских соглашений, после длительной эволюции системы европейской экономической интеграции в рамках Европейского экономического сообщества (ЕЭС). Нельзя не отметить, что при формировании ЕС вошедшие в это крупнейшее объединение страны действительно делегировали ряд традиционных прерогатив нации-государства

в экономической и социальной сфере наднациональным органам. Развитие интеграции в Европе (со значительным расширением ЕС), как и формальный суверенитет многих стран третьего мира — бывших колоний, давало повод заявлять, что размывание суверенитета — это мировой тренд.

Нередко на Западе утверждалось, что модель ЕС применима и к другим регионам мира, другим государствам, но, разумеется, не к США, занявшим уникальное место в системе мировой политики и в мировой экономике. Однако даже в Штатах определённая часть деловой и политической элиты была склонна пожертвовать некоторой долей прерогатив государства ради повышения экономической эффективности крупнейших американских транснациональных субъектов и вступить в новые гигантские международные интеграционные объединения. Речь шла о создании Транстихоокеанского партнёрства (ТТП) (а на следующем этапе и Трансатлантического торгово-инвестиционного партнёрства — ТАТИП). На эти объединения Соединёнными Штатами и их партнёрами возлагались большие надежды, связанные с ростом экономики этих стран в результате упрощения процедур движения товаров и услуг, передачи технологий, урегулирования торгово-экономических споров и т.д. [9, с. 15–33]. Предполагалось, что главенствующая роль в подобных объединениях будет принадлежать американским ТНК, несмотря на то, что США пришлось бы согласовывать многие вопросы собственной экономической политики со своими партнёрами по объединениям — как с крупными, так и средними высокоразвитыми в экономическом отношении государствами с оглядкой на их интересы и позиции. Возможные действия Соединённых Штатов, их союзников и партнёров в этой связи по отношению к КНР и России, которые оставались бы вне этих гигантских интеграционных объединений, вызвали значительную озабоченность и в Китае, и у нас.

Одной из черт мирового развития в эпоху глобализации стал рост социально-экономического расслоения, неравенства. Этот процесс затронул подавляющее большинство стран мира, включая США и КНР, не обошёл он стороной и Россию. После распада СССР неравенство в РФ росло очень быстрыми темпами, особенно в 1990-е годы, когда реальные доходы населения в целом значительно снижались [10, с. 323–354, 347]. (Именно поэтому сейчас в РФ весьма велик запрос на социальную справедливость, на расширение возможностей для различных групп российского населения, на обеспечение социальной мобильности молодёжи [11, с. 152, 154].)

Подавляющее большинство специалистов сходятся во мнении, что расцвет современной

глобализации пришёлся на первые годы XXI в. (до мирового кризиса 2007–2008 гг.). Но именно в тот период зародилось массовое транснациональное, в основном сетевое, движение антиглобалистов. Оно носило очень пёстрый характер, вобрав в себя разного рода организации как из развитых, так и из развивающихся стран: “зелёные”, левые группы и движения, пацифисты, защитники окружающей среды, защитники прав потребителей и др. Среди прочего антиглобалисты протестовали против деятельности Всемирной торговой организации и засилья “группы семи” (в составе США, Великобритании, Германии, Японии, Франции, Канады, Италии). Пик такого рода антиглобалистского движения, по видимому, остался в прошлом, завершившись пандемией коронавируса.

РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕГЛОБАЛИЗАЦИИ

Конец первого десятилетия XXI в. ознаменовался свёртыванием глобализации по ряду её параметров, развитием обратных ей процессов. Иными словами, началась деглобализация.

Первый удар глобализации был нанесён мировым кризисом 2007–2008 гг., который начался с того, что лопнул “финансовый пузырь” ипотечного кредитования в США. Финансовый кризис перерос в экономический с сокращением потребления топлива, сырья, материалов, с соответствующим обрушением цен, в том числе на нефть и природный газ, что не могло не отразиться на финансах и экономике России [12, с. 10–12]. Об итогах этого кризиса, его триггерах регулярно вспоминают и сейчас, особенно когда происходит обострение каких-либо проблем в банковской системе США, которые, как предполагается, могут самым негативным образом отразиться на финансовой системе других стран (включая Россию).

До кризиса 2007–2008 гг. среднегодовые темпы роста мирового ВВП длительное время составляли 4.7%; при этом мировой оборот торговли товарами и услугами увеличивался в среднем на 8% в год [13, с. 16]. После кризиса наблюдалось замедление средних темпов роста мировой торговли до уровня чуть выше темпов прироста мирового ВВП [10, с. 332]. В период кризиса многие страны, прежде всего США и страны ЕС, приняли целый набор протекционистских мер, чтобы защитить свою экономику. Глобализация мировой экономики была заметно заторможена.

Примечательным событием явилось прекращение членства Великобритании в Европейском союзе в 2020 г. на основании референдума 2016 г., когда 51.9% его участников высказались за выход страны из ЕС.

Очевидным тормозом процесса глобализации стала и пандемия коронавируса, в условиях которой произошло значительное сокращение туристических потоков, перевозок пассажиров, снижение масштабов мировой внешней торговли [14].

Частью процесса деглобализации можно считать действия США и их союзников и партнёров по введению разного рода санкций, особенно в отношении России и КНР.

Представляется очевидным, что процессы деглобализации во всё большей мере связаны с ослаблением позиций США на фоне усиления роли КНР и реакцией на это значительной части американской деловой и политической элиты, в целом населения Соединённых Штатов. За последние 15–20 лет произошли серьёзные макроструктурные сдвиги в мировой экономике и мировой политике, обусловленные возвышением Китая и отчасти Индии, прежде всего за счёт роста экономики, а затем и военной мощи КНР, особенно в последние 5–7 лет. Очевидно и усиление внешнеполитической активности Поднебесной, инструментами которой становятся яркие и понятные китайскому обществу идеологемы [15, с. 138–152].

По некоторым данным, в 1992 г., сразу после распада СССР, ВВП Соединённых Штатов оценивался в 6.52 трлн долларов, что составляло около 25.6% мировой экономики, в то время как ВВП Китая достигал 426.9 млрд долларов, или 1.67% мировой экономики. То есть КНР отставала от США в 15 раз, являясь десятой экономикой мира. К 2020 г. американский ВВП вырос более чем в 3 раза и достиг 20.94 трлн долларов, но вклад США в мировую экономику снизился до 24.7%, в то время как за тот же период китайская экономика выросла более чем в 34 раза – до 14.72 трлн долларов (примерно 70% ВВП США¹). После 2005 г., с расширением базы экономического роста Китая, его экономика значительно выросла и в абсолютном, и в относительном выражении. Доля КНР в мировом экономическом производстве ежегодно росла примерно на 1% – с 4.8% в 2005 г. до примерно 17% в 2021 г. [17, с. 111]. КНР в максимально возможной мере использовала

¹ Крупным событием этого периода в плане соотношения процессов глобализации и деглобализации можно считать меры по стимулированию роста добычи в США нефти и природного газа (со значительными отрицательными экологическими последствиями), что вернуло Соединённым Штатам ранее утраченную ими на десятилетия позицию нетто-экспортёра углеводородов. Это привело, в частности, к тому, что США стали независимыми от импорта нефти с нестабильного Ближнего Востока. Отмечается, что превращение США в нетто-экспортёра углеводородов способствовало усилению их политико-военных позиций по отношению к КНР, у которой сохраняется высокая степень зависимости от импорта нефти с Ближнего Востока через Индийский океан, где США сохраняют значительное военное присутствие [16].

ВТО, в которую вступила в декабре 2001 г. после длительных упорных переговоров, добившись статуса развивающейся страны со всеми полагающимися преференциями. К настоящему времени стало очевидно, что главный бенефициар глобализации – Китай.

Процесс ослабления позиций США перед лицом Китая в немалой степени связан с активным переносом американскими транснациональными корпорациями многих производств с территории США в другие страны, особенно в Китай, что обернулось утратой американцами многих миллионов рабочих мест. В Соединённых Штатах широко распространённым стало мнение о том, что произошла замена американских работников китайскими. Китай шаг за шагом занимал всё более видное место в глобальных цепочках поставок в целом ряде высокотехнологичных секторов, включая производство полупроводников, критически важных материалов, электрических батарей, солнечных панелей, фармацевтической продукции [19].

В то же время Китай пока не занял достаточно высокого места в глобальных цепочках добавленной стоимости. Для того чтобы подняться по этим цепочкам на более прибыльный уровень, руководство КНР намерено акцентировать внимание на устранении имеющихся узких мест в производственно-сбытовых отношениях и укреплении внутреннего производственного потенциала, в том числе за счёт стимулирования развития небольших отечественных инновационных компаний до уровня нишевых лидеров, опираясь на опыт создания целого ряда высокотехнологичных компаний [18, с. 105, 107]. (Наибольший объём добавленной стоимости в её глобальных цепочках создаётся в таких странах, как США, Германия, Канада. Китай в соответствующем рейтинге находится на третьем уровне [20, с. 48, 49].)

РОЛЬ США В ДЕГЛОБАЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ НАРАСТАНИЯ КИТАЙСКОГО ВЫЗОВА

Как уже было сказано, глобализацию и деглобализацию необходимо рассматривать прежде всего во взаимосвязи с динамикой развернувшегося геополитического противоборства – политического, идеологического, экономического, технологического, военно-стратегического, в первую очередь между США и КНР. Такое противоборство тесно связано с внутренним развитием этих и других стран. Процессы глобализации и деглобализации во многом являются производными от динамики соотношения сил и взаимоотношений двух самых крупных государств и двух ведущих экономик мира.

В Стратегии национальной безопасности США 2022 г. отмечается: “Китай представляет собой самый серьёзный геополитический вызов Америке. Хотя наиболее остро его результаты будут сказываться в Индо-Тихоокеанском регионе, у этой проблемы есть значительные глобальные аспекты”. КНР рассматривается как единственный опасный конкурент США, имеющий намерение “изменить международный порядок”, задействовав всю экономическую, дипломатическую, военную и технологическую мощь для достижения этой цели. “Пекин притязает на превращение в ведущую мировую державу” – так в данном документе оцениваются намерения и устремления руководства Китая [21].

Очень существенную роль в политике США в отношении КНР играют американские внутриполитические и социально-экономические (в том числе демографические) процессы, которые носят глубинный характер. В их числе рост социально-экономического неравенства, стагнация доходов среднего класса, угроза утраты белыми позиций ведущей расово-этнической группы на фоне увеличения в населении доли афроамериканцев и испаноговорящих [22, 27]. Эти тенденции усиливают политическую нестабильность в США, способствуют углублению поляризации в американском обществе, в том числе на расовой основе.

Среди значительной части американских граждан обозначился рост националистических настроений, противоположных либеральным установкам (идеологемам) 1990-х – начала и первого десятилетия 2000-х годов. Наблюдаемые изменения рынка труда противоречат интересам среднего класса, который на протяжении долгого времени оставался оплотом американской демократии. Медианный уровень заработной платы американского населения вырос за 2000–2010 гг. лишь на 1.1%, в то время как медианный показатель заработной платы высокодоходного сегмента занятых – на 7.3%, а низкодоходного, напротив, снизился на 5.3%, то есть налицо усиление поляризации общества по доходам. В ВВП страны продолжает сокращаться доля труда, при этом темп роста доходов отстаёт от темпов роста производительности труда [23, с. 94]. Растёт разрыв в благосостоянии между белым и чёрным населением США. Речь идёт не только о собственном доходе, но и о дискриминации при приёме на работу, по условиям получения кредитов, приобретения жилья, по показателям тюремного заключения и т.п. Для решения проблем афроамериканского населения требуются огромные средства: чтобы сократить существующий разрыв вдвое, надо затратить 7.5 трлн долларов, а чтобы его устранить – 15 трлн долларов [24]. (Все мы помним протесты чернокожих в США летом 2020 г. после убийства полицейскими Джорджа

Флойда, принимавшие насильственную форму. Они имели сильный международный отклик [25, с. 178].)

Как отмечает, В.Б. Супян, позитивные результаты неолиберальной экономической политики в США за последние 20 лет коснулись прежде всего предпринимателей, инвесторов, в целом высокооплачиваемых и высококвалифицированных специалистов, жителей крупных городов и логистических центров, доходы которых росли. Однако значительная часть населения Соединённых Штатов (нижние 3/5 доходополучателей, то есть около 150 млн взрослых граждан страны) оказались в проигрыше [23, с. 93]. По данным опроса Исследовательского центра Пью (апрель 2023 г.), большинство американцев считают, что в перспективе до 2050 г. положение дел в стране будет усложняться и ухудшаться. По мнению опрошенных, американская экономика будет слабее (60%); США будут играть менее важную роль в мире (71%); страна будет ещё более политически разделена (77%); разрыв между богатыми и бедными увеличится (81%). Только 19% респондентов удовлетворены тем, как сейчас в стране обстоят дела, в то время как 80% высказывают недовольство. Значительно выросло число американцев, которые считают, что сегодня жизнь в США значительно хуже, чем 50 лет назад [26]. Однако такие общественные настроения не сказались на попытках американского политического класса добиться лидерства США в мировых делах, на попытках, которые нашли отражение в целом ряде документов стратегического планирования как республиканской, так и демократической администраций. Более того, по ряду направлений стремление обеспечить подобное лидерство принимает всё более агрессивный характер.

В последние десятилетия XX и в начале XXI в. в Соединённых Штатах произошло замедление роста инвестиций в человеческий капитал, включая фундаментальные научные исследования и производственную инфраструктуру. В частности, федеральные расходы на образование, инфраструктуру и НИОКР сократились с 2,5% ВВП в 1980 г. до менее чем 1,5% в 2020 г. [23, с. 95].

У значительной части политической и деловой элиты США, да и населения в целом, стала усиливаться тревога (вплоть до предельно алармистских настроений) по поводу относительного снижения позиций страны в мировой экономике и мировой политике. А ведь лидерство США на протяжении десятилетий считалось непреложным фактом, одним из важнейших элементов мироощущения подавляющего большинства американцев. Подобные умонастроения ярко проявились в ходе президентских выборов 2016 г., когда главными предвыборными лозунгами Д. Трампа стали “Америка прежде всего” и “Сделаем Аме-

рику вновь великой”. На этой волне возник трампизм как политическая идеология, которая сохраняет своё значение в Республиканской партии и после поражения Трампа на выборах в 2020 г. [27, с. 192]. Надо сказать, что при Дж. Байдене курс на обеспечение США ведущего места в мире сохраняется. Так, во введении к Стратегии национальной безопасности США 2022 г. заявляются весьма амбициозные цели относительно обеспечения “американского лидерства”, потребность в котором в мире якобы “столь же высока, как и всегда” [21].

Перечисленные признаки ухудшения экономического и внутривнутриполитического положения в США, как и ослабление Европейского союза, объективно играют против глобализации.

В США в целом признают огромные достижения КНР не только в экономической и социальной сферах, но и в науке и технологиях. В том числе это относится к технологиям искусственного интеллекта (ИИ), квантовым технологиям, суперкомпьютерам, мобильной связи пятого поколения, к ряду биотехнологий и технологиям “зелёной энергетики”. Всё чаще говорится, что Китай способен стать мировым лидером в этих областях [28]. В то же время американцы весьма озабочены последствиями реализации огромных по своим масштабам внешнеэкономических проектов КНР. Американские политики бьют тревогу по поводу того, что инициатива “Пояса и пути”, объявленная Си Цзиньпином в 2013 г. во время визита в Казахстан, может оказаться своего рода “троянским конём” для многих стран и регионов. Эта инициатива охватывает 47 стран, 2/3 населения мира с 40% мирового ВВП. В дополнение к финансированию многочисленных проектов возведения инфраструктуры предполагается создание сотен специальных экономических зон, строительство десятков тысяч километров железных дорог, автомобильных трасс, трубопроводов для транспортировки энергоносителей, то есть сотни миллиардов долларов инвестиций. Этот мегапроект включает два основных компонента – “Экономический пояс шёлкового пути” и “Морской шёлковый путь” [29].

В то же время в США отмечают наличие в КНР большого числа сложных проблем, которые, по ряду оценок, позволяют рассчитывать на успех противоборства Соединённых Штатов и их союзников с Китаем. Так, в интегрированном аналитическом документе разведывательного сообщества США отмечается, что у Китая “мириады проблем”, внутренних и международных, в ряде случаев нарастающих, которые-де повлияют на реализацию “амбиций лидеров КПК”. Среди этих проблем называют старение населения, высокий уровень корпоративного долга, экономическое неравенство и “растущее сопротивление”

на международной арене “жесткой тактике” Китая в отношении Тайваня и других стран [19].

При Трампе высшие должностные лица США стали упрекать КНР в экономической агрессии, в краже американской интеллектуальной собственности и вмешательстве в выборы в США, в якобы имеющем место притеснении этнических и религиозных меньшинств в Китае [30, с. 108]. Позднее со стороны госдепартамента США последовали обвинения в адрес руководства Китая в геноциде и преступлениях против человечности. Антикитайские резолюции по этим вопросам принимал и Конгресс США [31].

Антикитайская политика США характеризуется попытками активного вмешательства во внутренние дела КНР. Это крайне негативно воспринимается в Китае. 27 ноября 2019 г. Д. Трамп подписал закон “О правах человека и демократии в Гонконге”, что стало фактом грубого вмешательства во внутренние дела КНР. Этот закон позволяет Соединённым Штатам применять санкции к лицам, ответственным за нарушения прав человека в Гонконге. Трамп выдвинул требование, чтобы ежегодно официальные лица в Вашингтоне оценивали, пользуется ли Гонконг “высокой степенью автономии” от Пекина. 23 июля 2020 г. госсекретарь США Майк Помпео произнёс резко идеологизированную речь под названием “Коммунистический Китай и будущее свободного мира” [30, с. 109].

Такая линия в значительной мере сохраняется и у администрации Дж. Байдена. В официальном документе директора Центральной разведки Китая обвиняется в том, что на международной арене он пытается посеять сомнения относительно лидерства США, подорвать демократию, стремится повлиять на американских политиков всех уровней (в том числе на уровне отдельных штатов и даже на местном уровне) в целях улучшения их отношения к Китаю [19]. Всё это свидетельствует об углублении идеологизации противостояния США и КНР. Политика Вашингтона вполне обоснованно сталкивается с крайне негативной реакцией китайского руководства. Бывший посол России в КНР, один из ведущих современных китаистов А.И. Денисов в связи с этим отметил: “Начиная со времён президентства Дональда Трампа и до настоящего момента противостояние между Вашингтоном и Пекином сместилось в политическую и идеологическую плоскость” [32, с. 36].

Во многих американских разработках известных аналитических центров, связанных с аппаратом Совета национальной безопасности США, Министерством обороны США, Госдепартаментом, делается множество предположений о почти неизбежной крупномасштабной войне между США и КНР. Но немалое число разработок наце-

лено на поиск путей, которые позволили бы избежать такого взаимопасного развития событий. С этой точки зрения стоит обратить внимание на фундаментальный труд гарвардского профессора, бывшего заместителя министра обороны США Г. Аллисона (переведённый и изданный в КНР). Говоря о высокой степени вероятности войны между США и Китаем, Аллисон призывает к масштабным усилиям для её предотвращения; он считает, что “американские лидеры должны лучше понимать и уважать китайские коренные интересы” [33, с. 235]. А.И. Денисов, оценивая высокую степень рискованности и провокационности политики США в отношении КНР, пишет: “Вашингтон избрал курс балансирования на грани возможного, в том числе на грани войны” [32, с. 37]. Агрессивное дестабилизирующее поведение США отчётливо выражается в ситуации, которая складывается вокруг Тайваня.

Активное неприятие политического класса США касается и того очевидного факта, что Китай превратился в “мастерскую мира”, в то время как в Соединённых Штатах произошла масштабная деиндустриализация, что в значительной мере стало следствием политики американских ТНК. Последние в стремлении обеспечить повышение прибыльности своей деятельности на протяжении десятилетий переносили многие производства в зарубежные страны, в первую очередь в Китай. Такая стратегия, как считают теперь некоторые политики и бизнесмены, угрожает американской национальной безопасности, поскольку многие производственные цепочки, в которые включены США и их союзники, оказались в руках их наращивающего мощь соперника – потенциального противника в будущей войне. Сейчас политическое руководство США и ряда стран Европы предпринимает усилия для возврата промышленных предприятий из развивающихся стран (прежде всего из КНР) на свою территорию. По оценкам экспертов, “активнее всего этот процесс развивается в высокотехнологичных отраслях” [20, с. 57, 58]. Эту тенденцию можно рассматривать как один из признаков деглобализации.

Одновременно в США в последние годы принято большое количество протекционистских мер (не только влияющих на отношения с КНР, но и на отношения с рядом близких союзников США), серьёзно подорвавших режим ВТО как одного из основных институтов глобализации 1990-х – 2000-х годов. При администрации Трампа подобные протекционистские меры в случае с Китаем вылились в торговую войну. В США сформировалась единая позиция Республиканской и Демократической партий относительно ВТО: в нынешних условиях деятельность этой организации не соответствует интересам США. Почти все американские эксперты отмечают, что на

переговорах в рамках ВТО не удалось обновить правила международной торговли, связанные с влиянием факторов “нерыночной экономики” и “несправедливых торговых практик”, под которыми имеются в виду принудительная передача технологий и масштабные промышленные субсидии. Подчёркивается, что в рамках ВТО не пересмотрены обязательства стран-членов, касающиеся интеллектуальной собственности, чем активно пользуется Китай в своих коммерческих интересах [35, с. 5–15]. Однако меры, предпринятые администрациями Трампа и Байдена против ВТО, “подорвали один из двух основных режимов мирового порядка, который сами [США] и создали” [36, с. 40].

Одним из радикальных шагов Трампа, способствовавших деглобализации, стал выход из Транстихоокеанского партнёрства (ТТП), а затем прекращение переговоров по Трансатлантическому торговому и инвестиционному партнёрству (ТАТИП). При внимательном рассмотрении значение таких действий Трампа трудно переоценить. Он решительно перечеркнул многолетние усилия предшествующих администраций в этой области, причём как демократов, так и республиканцев, отказавшись по ряду параметров от дальнейшей транснационализации американского бизнеса. Пришедший к власти после Трампа Байден, критиковавший своего предшественника за многие его действия во внешнеэкономической сфере, на деле продолжил политику республиканской администрации. Байден не стал возвращаться ни к ТТП ни к ТАТИП. Многочисленные торговые тарифы, противоречащие ВТО, введённые в действие администрацией Трампа, остались в силе и при администрации Байдена (особенно в отношении Китая) [37, с. 105]. В то же время 23 мая 2022 г. Байден запустил новое экономическое соглашение, названное Индо-Тихоокеанской экономической структурой (ИТЭС), в которое вошли 12 стран Индо-Тихоокеанского региона (помимо США, это Австралия, Бруней, Вьетнам, Индия, Индонезия, Малайзия, Новая Зеландия, Сингапур, Южная Корея, Филиппины и Япония). Участники этого соглашения призваны развивать торговлю, цепочки поставок, “чистую энергию”, осуществлять меры по декарбонизации, гармонизировать налоговую политику, вести борьбу с коррупцией, развивать инфраструктуру [38]. Американские эксперты отмечают, что создание ИТЭС не означает возврата к ТТП, из которого вышли США при администрации Трампа. Многие говорят о том, что пока это довольно аморфное образование по сравнению с ТТП [39].

Апеллируя к интересам национальной безопасности США, Трамп ввёл санкции в отношении целого ряда китайских компаний. Наиболее ярким примером могут служить действия в отно-

шении телекоммуникационного гиганта “Huawei”, присутствующего на глобальном рынке и действующего во многом как ТНК. Были заблокированы действия этой компании по продаже технологий и услуг применительно к мобильной связи 5-го поколения (G5) в США и во многих других странах, в чём китайцы достигли значительных успехов. “Huawei” обвинялся в шпионаже и нечестной конкуренции, передаче госорганам КНР конфиденциальной информации о своих клиентах и т.п. По многочисленным экспертным оценкам и данным экономической статистики, такого рода санкции нанесли серьёзный финансовый ущерб многим китайским компаниям в сфере ИКТ.

США шаг за шагом ужесточают санкции в отношении высокотехнологичных отраслей Китая. В первую очередь это относится к технологиям, связанным с микроэлектроникой и искусственным интеллектом. В США введены довольно жёсткие запреты на поставки в КНР целого ряда критически важных технологий. Эти запреты распространяются на литографические машины, системы автоматического проектирования микросхем и на ряд других технологий выпуска микросхем, в которых КНР, как считается, зависит от США и их союзников [41, с. 77]. В последнее время усилия американцев направлены не только на то, чтобы затормозить развитие КНР в этих областях, но и чтобы снизить уровень китайской полупроводниковой промышленности, отбросить её назад. Аналогичные меры принимают близкие союзники США – Нидерланды и Япония – как ведущие производители оборудования для производства микроэлектроники [42]. Как отметила официальный представитель МИД КНР Мао Нин, американские ограничения экспорта микросхем представляют собой пример “научно-технической травли и торгового протекционизма”. По её словам, такие действия Вашингтона и его союзников, направленные на сдерживание Китая, противоречат принципам мировой экономики и подрывают стабильность глобальных цепочек производства и поставок [43].

В целом можно констатировать, что своими протекционистскими мерами и санкциями в отношении китайских компаний США нанесли сильный удар по принципам свободной торговли. Между тем по крайней мере с середины XIX в. США выступали как активнейший апологет свободной торговли, следование принципам которой оставалось неотъемлемой частью их внешнеполитической стратегии.

Идею свободной торговли взяла на вооружение КНР. Как уже отмечалось выше, при вступлении в ВТО Китай в ходе упорных и длительных переговоров добился многих преференций, обозначая себя (вполне оправданно на тот момент)

как развивающуюся страну. Такие же преференции получили и многие другие развивающиеся страны, включая Вьетнам, Малайзию, Индонезию. Китай полностью воспользовался теми возможностями, которые открывались со вступлением в ВТО. КНР достигла экстраординарных успехов в своём развитии, заняв исключительно значимые позиции в том числе и на американском рынке, а также на рынке стран ЕС. Одновременно благодаря сознательно проводимой государством политике Китай смог привлечь огромные инвестиции из развитых стран, в частности в высокотехнологичные производства, обеспечив масштабный доступ к новейшим технологиям. Десятки, а затем и сотни миллионов китайцев стали приближаться по уровню благосостояния к “золотому миллиарду”.

Высшее руководство КНР последовательно декларирует приверженность экономической глобализации, не упоминая социокультурные и идеологические её аспекты, на которые во многом делали ставку на Западе. Вскоре после прихода к власти в Соединённых Штатах администрации Д. Трампа Пекин заявил о возможностях Китая сыграть роль лидера в развитии этого процесса. Председатель КНР, генеральный секретарь ЦК КПК Си Цзиньпин на встрече с канцлером ФРГ О. Шольцем 5 ноября 2022 г. заявил, что Китай будет “придерживаться правильного вектора экономической глобализации, продвигать мировую экономику” [44].

В совместном заявлении Президента России В.В. Путина и Си Цзиньпина по результатам визита китайского лидера в Москву в марте 2023 г. говорилось о том, что стороны будут “продвигать многополярное мироустройство, экономическую глобализацию и демократизацию международных отношений, содействовать развитию глобального управления в более справедливом и рациональном ключе”, а также что “стороны поддерживают построение открытой мировой экономики, отстаивают многостороннюю торговую систему, центральную роль в которой играет Всемирная торговая организация”, что “стороны намерены укреплять взаимодействие по вопросам поддержки многосторонней торговой системы, основанной на правилах ВТО, и борьбы с торговым протекционизмом” [45]. Декларируя приверженность экономической глобализации, многосторонней торговой системе на правилах ВТО, Россия и Китай в то же время последовательно борются за обеспечение собственного суверенитета в современной мировой политике.

О НЕКОТОРЫХ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ США И КНР В УСЛОВИЯХ ИХ ПРОТИВОБОРСТВА

С 2016 г. Соединённые Штаты в качестве стратегической цели определили для себя реиндустриализацию национального хозяйства: по этому вопросу образовался двухпартийный консенсус. Такая политика предусматривает налоговые льготы, крупные государственные субсидии, инвестиции, дополнительные вложения в НИОКР, исчисляемые многими сотнями миллиардов долларов [41, с. 66–69]. В рамках реиндустриализации наращиваются усилия по переносу производств в США. Курс на реиндустриализацию сопровождается масштабными вложениями в обновление устаревшей инфраструктуры – дорог, мостов и других сооружений. В ноябре 2021 г. Дж. Байден подписал ранее принятый Конгрессом закон “Об инфраструктуре”. В соответствии с ним за счёт намеченных инвестиций в 1,2 трлн долларов на десять лет предполагается ежегодно создавать 1,5 млн новых рабочих мест. В первые пять лет инвестиции на эти цели должны превысить 350 млрд долларов [47, с. 7].

Всё это требует огромных затрат, прежде всего федерального бюджета США, который стабильно сводится с огромным дефицитом. При этом США не отказываются от наращивания расходов на военные нужды. Министр обороны Л. Остин сделал запрос на увеличение военного бюджета на 3,2% в 2024 ф.г. по сравнению с 2023 ф.г., причём военные расходы в 2023 ф.г. на 13,4% больше, чем в 2022 ф.г. По словам Остина, необходимость в этом “определяется серьёзностью... стратегического соперничества с КНР”. Предусматривается увеличение на 40% по сравнению с 2023 ф.г. инвестиций в Тихоокеанскую оборонную инициативу (Pacific Deterrence Initiative) [48].

Последний год, когда федеральный бюджет был профицитным, – 2007-й. Возможности наращивания федеральных бюджетных расходов во многом упираются в вопрос об увеличении потолка госдолга США, который достиг в 2023 г. 31,4 трлн долларов, что составляет около 120% ВВП страны [49]. Обсуждение этой проблемы стало предметом острого противостояния между республиканцами и демократами в Конгрессе США в апреле–мае 2023 г., которое закончилось компромиссом. В результате удалось избежать дефолта по платежам по ценным бумагам, выпущенным Казначейством США для покрытия госдолга. Республиканцы добились некоторого снижения расходов на приоритетные для демократов социальные программы, но обе фракции оставили без изменения растущие военные расходы, в том числе на оказание военной помощи Украине, которая ведёт войну против России в интересах США и их союзников.

С тенденцией реиндустриализации американского хозяйства во многом связан весьма значимый в современной мировой политике и экономике тайваньский вопрос. Американские аналитики отмечают, что даже мирное воссоединение Тайваня с Китаем чревато большими проблемами для национальной безопасности США. Дело в том, что контроль Пекина над Тайванем будет иметь масштабный эффект, включая нарушение глобальных цепочек поставок микропроцессоров последнего поколения [18]. По оптимистическим прогнозам, потребуется от двух до пяти лет, чтобы построить в США предприятия электроники, которые позволят компенсировать потерю Тайваня. Очень серьёзно оценивается угроза мировой экономике в случае конфликта США и КНР вокруг Тайваня, главным образом в силу того, что тайваньская компания TSMC производит 92% мирового потребления микропроцессоров самого передового уровня – с топологическими размерами 10 нанометров и меньше [46].

Со своей стороны власти КНР, декларируя приверженность экономической глобализации, усиливают меры государственной поддержки развития науки и технологий, высокотехнологичных производств на своей территории, повышения места своих компаний в глобальных цепочках добавленной стоимости. Усилия в этом направлении во многом связаны со сменой экономической модели, которая началась с провозглашения курса “двойной циркуляции”, которая предполагает не только экспортную ориентированность производства, но и резкое наращивание внутреннего потребления на китайском рынке. Переход к новой экономической модели сопровождается повышением роли Коммунистической партии и партийного руководства в жизни КНР. Основные положения новой концепции были изложены на 19 съезде КПК и объединены под название “Теория Си Цзиньпина о социализме с китайской спецификой новой эпохи” [50, с. 10, 11].

Суть стратегического подхода Китая к наращиванию научно-технического потенциала в 14 пятилетке определяется следующим образом: если предшествующие пятилетние планы в основном были нацелены на догоняющее развитие, то в новой пятилетке поставлена задача превращения Китая в глобальный инновационно-технологический центр и снижения его уязвимости перед лицом внешних потрясений посредством достижения большей самостоятельности и независимости в научно-технической сфере (опора на собственные силы). Таким образом, научно-техническая независимость страны рассматривается как стратегическая цель развития Китая [18, с. 105, 108].

Следует иметь в виду, что противоборство США и КНР разворачивается на фоне весьма вы-

сокой экономической взаимозависимости этих стран. К 2022 г. объём американо-китайской торговли достиг 755 млрд долларов, что составляет примерно 12% торгового оборота КНР в 2021 г., причём суммарный дефицит торгового баланса США в последние годы нарастает. Китай разместил значительную часть своих валютных резервов в казначейских облигациях США – на общую сумму около 1 трлн долларов. Экономика США оказалась в большой зависимости от китайского экспорта, причём речь идёт не только о дешёвых товарах массового потребления, но и о высокотехнологичной продукции, связанной с информационными технологиями, без которой США уже не могут производить собственные конкурентоспособные высокотехнологичные товары [32, с. 36].

Многие американские эксперты вполне отдадут себе отчёт в том, что протекционизм в отношении КНР, экономическая и политико-военная конфронтация с ней имеют свои пределы, что если их перейти, и США, и Китаю, и мировой экономике в целом грозит новая великая депрессия. Поэтому со стороны экспертного сообщества звучат призывы к Китаю осуществлять совместно с Соединёнными Штатами “конструктивное глобальное лидерство”, а к США – отказаться от сдерживания Китая [51]. Взаимозависимость США и КНР осознаётся и руководителями обеих стран. Так, премьер Госсовета КНР Ли Цян заявил на сессии Всекитайского собрания народных представителей 13 марта 2023 г., что “Китай и США тесно взаимосвязаны экономически и оба извлекли выгоду из развития другой стороны”, что они могут и должны сотрудничать, что их сотрудничество является многообещающим [52]. А министр финансов США Дж. Йеллен призвала к “конструктивным и справедливым отношениям между США и КНР”, отметив, что “полный разрыв экономик США и КНР приведёт к катастрофе обе наши страны и дестабилизирует всю планету” [53].

Свёртывание глобализации в том её виде, который был характерен для конца прошлого и начала нынешнего веков, нарастание деглобализации – процесс масштабный. Можно предположить, что он будет разворачиваться и далее. Очевидно, что реальные удары по глобализации нанесли не антиглобалисты, не страны так называемого третьего мира, а Соединённые Штаты Америки, которые проявили себя как явный лидер деглобализации под влиянием отмеченных выше идеологических, внутривластных и экономических факторов, главный из которых – изменение соотношения сил между США и КНР.

Что касается России, то процессы глобализации и деглобализации играли и играют большую роль в развитии как нашего общества, так и экономики, которая, как это неоднократно подчёркивалось высшим руководством страны, составляет важную часть мировой экономики. 26 мая 2023 г. В.В. Путин заявил: “Россия... является неотъемлемым участником глобальной экономики”, в которой “происходит глубокая, кардинальная трансформация” [51]. Экономическая и технологическая агрессия по отношению к России в рамках гибридной войны, которая ведётся США и их союзниками, вносит свой вклад в деглобализацию, усиливая тенденцию к нарушению глобальных экономических связей.

В новых геополитических и экономических условиях существенно возросло значение Китая для России. В официальных российско-китайских документах новая реальность характеризуется как “отношения всеобъемлющего партнёрства и стратегического взаимодействия, вступающие в новую эпоху”. А значит, исключительно важно выстраивать взаимовыгодные равноправные отношения наших стран на долгосрочную перспективу, в том числе с учётом процессов глобализации и деглобализации. Значительную роль в противостоянии коллективному Западу, в развитии процессов мировой политики и мировой экономики могут сыграть такие объединения, как ШОС и БРИКС, в которых весьма важную роль играет Россия.

Для нашей страны большое значение имеет то, какими темпами будут развиваться дружественные и нейтральные государства, на которые переориентируются российские внешнеэкономические связи, в том числе с точки зрения поставок на мировой рынок углеводородного сырья, а также продовольствия, удобрений и другой экспортной российской продукции. Очевидно, что от этого будет во многом зависеть состояние российского бюджета, вложения в экономические проекты и в социальную сферу, в науку, культуру, в оборону и безопасность. Всё это, безусловно, будет влиять на формирование новой социальной реальности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кувалдин В.Б.* Глобализация и национальное государство: вчера, сегодня, завтра // *Мировая экономика и международные отношения*. № 1. 2021. С. 5–13.
2. *Олейнов А.Г.* Экономическое будущее глобализации // *Вестник МГИМО(У)*. 2018. № 4 (61). С. 92–106.
3. *Громыко А.А.* Современный мир: разгон противостояния “великих держав” // *Европа в кризисном мире*. М.: Весь мир; ИЕ РАН, 2022. С. 11–27.
4. *Кравченко С.А.* Геополитические вызовы и отечественная социология // *Социологические исследования*. 2023. № 2. С. 51–62.
5. *Кортунов А.В.* Кризис миропорядка и будущее глобализации. Российский совет по международным делам (РСМД). М.: НП РСМД, 2020. С. 4–62.
6. *Кравченко С.А.* Цивилизационные вызовы устойчивому развитию России // *Мировая экономика и международные отношения*. 2023. № 2. С. 30–40.
7. *Богатуров А.Д.* Понятие мировой политики в теоретическом дискурсе // *Мировая политика: теория, методология, прикладной анализ* / Отв. ред. А.А. Кокошин, А.Д. Богатуров. М.: КомКнига, 2005. С. 16–33.
8. *Кокошин А.А.* Обеспечение реального суверенитета России в современном мире // *Вестник Российской академии наук*. 2014. № 1. С. 1090–1097.
9. *Сидоров А.А.* США и Транстихоокеанское партнёрство: проблемы и перспективы // *США & Канада: экономика, политика, культура*. 2012. № 11. С. 15–33.
10. *Григорьев Л.М.* Экономика переходных процессов. В 4 т. Т. 4. М.: ОГИ, 2021.
11. *Беляева Л.А.* Консолидация российского общества в новых геополитических реалиях // *Социологические исследования*. 2023. № 3. С. 150–153.
12. *Аганбегян А.Г.* Кризис: беда и шанс для России. М.: АСТ, Астрель, 2009. С. 1–14.
13. *Богомолов О.Т. и др.* Глобальная экономика и жизнеустойчивость на пороге новой эпохи. М.: Анкил, 2012. С. 1–384.
14. *Мафуанг С.* Влияние пандемии Covid-19 на перестройку глобализации и многосторонность // *Русская политология*. 2021. № 2 (19). *Politolog_19.indd* (rpolitology.ru) (Дата обращения 06.06.2023).
15. *Ломанов А.В.* Предвидеть “лебедя”, заметить “носорога” // *Россия в глобальной политике*. 2023. № 1. С. 138–152.
16. *Nye J.S.* The Logic of US–China Competition. Belfer Center for Science and International Affairs. May 06, 2022. <https://www.belfercenter.org/publication/logic-us-china-competition> (Дата обращения 06.06.2023).
17. *Чжао Хуашэн.* Маятник истории: тридцать лет после СССР // *Россия в глобальной политике*. 2021. № 6 (112). С. 106–123.
18. *Грибова Н.В.* Перспективы развития научно-технического потенциала Китая в 14-й пятилетке (2021–2025 гг.) // *Проблемы национальной безопасности*. 2021. № 6. С. 93–114.
19. Annual Threat Assessment of the US Intelligence Community. INTEL – Annual Threat Assessment of the U.S. Intelligence Community (Дата обращения 06.06.2023).
20. *Гудкова Т.В., Сухорукова Д.М.* Факторы трансформации глобальных цепочек добавленной стоимости // *США & Канада: экономика, политика, культура*. 2022. № 52 (11). С. 48–49.
21. National Security Strategy // The White House, October 2022. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/10/Biden-Harris-Administrations->

- National-Security-Strategy-10.2022.pdf (Дата обращения 06.06.2023).
22. *Травкина Е.М.* США: меняющийся алгоритм развития / Институт США и Канады РАН. М.: Весь мир, 2018.
 23. *Сулян В.Б.* Американская модель капитализма: преимущества и вызовы XXI века // *Мировая экономика и международные отношения*. 2022. № 9. С. 90–97.
 24. *Irving D.* What would it Take to Close America's Black White Wealth Gap // The RAND Corporation. 2023. May 9. <https://www.rand.org/blog/rand-review/2023/05/what-would-it-take-to-close-americas-black-white-wealth-gap.html> (Дата обращения 06.06.2023).
 25. *Сучков М.А.* Закат РахАмерicana: миф или реальность? // *Проблемы национальной стратегии*. 2023. № 1 (78). С. 170–182.
 26. *Daniller A.* Americans take a dim view of the nation's future, look more positively at the past. Pew Research Center. April 24, 2023. <https://www.pewresearch.org/short-reads/2023/04/24/americans-take-a-dim-view-of-the-nations-future-look-more-positively-at-the-past/> (Дата обращения 06.06.2023).
 27. *Самуйлов С.М.* Трамизм: раскол общества и элиты. М.: Весь мир, 2022.
 28. *Burek J.* The US-China Future: Competition and Collaboration with a Rising China. Belfer Center for Science and International Affairs. Fall 2022. <https://www.belfercenter.org/publication/us-china-future-competition-and-collaboration-rising-china> (Дата обращения 06.06.2023).
 29. *McBride J., Berman N., Chatzky F.* China's Massive Belt and Road Initiative. Council on Foreign Relations 2023. Febr. 2. China's Massive Belt and Road Initiative. Council on Foreign Relations (cfr.org) (Дата обращения 06.06.2023).
 30. *Ермаков Д.Н., Казенков О.Ю.* Америко-китайские отношения в условиях глобализации // *США & Канада: экономика, политика, культура*. 2022. № 8. С. 102–124.
 31. *Lawrence S.V., Shutter R.M.* China Primer: U.S. – China Relations. Congressional Research Service. February 2, 2023. IF10119 (congress.gov) (Дата обращения 06.06.2023).
 32. *Денисов Л.И.* Особенности современной американо-китайской стратегической конкуренции // *Проблемы национальной стратегии*. 2023. № 1. С. 32–45.
 33. *Allison G.T.* Destined for War. Can America and China Escape Thucydides's Trap? Boston–N.Y.: Houghton Mifflin Harcourt, 2017.
 34. *Cronin P.M., Doran M., Rough P.* Geopolitical Implications of the Coronavirus // Hudson Institute. <https://www.hudson.org/research/15816-geopolitical-implications-of-the-coronavirus> (Дата обращения 07.06.2023).
 35. *Меньшикова А.М.* Позиция администрации Дж. Байдена в отношении Всемирной торговой организации // *США & Канада: экономика, политика, культура*. 2022. № 7. С. 5–15.
 36. *Несмаиный А.* Российский допинг для американской гегемонии // *Россия в глобальной политике*. 2022. № 6. С. 35–48.
 37. *Ушаков В.А.* Тенденции и перспективы социально-экономического развития США // *Проблемы национальной стратегии*. 2023. № 1 (76). С. 84–119.
 38. Office of the United States Trade Representative Indo-Pacific Economic Framework for Prosperity (IPEF). <https://ustr.gov/ipef> (Дата обращения 07.06.2023).
 39. *Benson E., Rynolds G.* Indo-Pacific Economic Framework for Prosperity. 2022. Sept. 25. International Institute for Sustainable Development, 2022. <https://www.iisd.org/articles/policy-analysis/indo-pacific-economic-framework> (Дата обращения 07.06.2023).
 40. Is China's Huawei a Threat to US National Security? Council on Foreign Relations. February, 2023. <https://www.cfr.org/backgrounder/chinas-huawei-threat-us-national-security>
 41. *Перская В.В.* США: от экономики постиндустриальности к реальной промышленной политике // *Проблемы национальной стратегии*. 2023. № 1 (76). С. 58–83.
 42. National Security Implications of Fifth Generation (5G) Mobile Technologies. Congressional Research Service. March 14, 2023. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11251> (Дата обращения 07.06.2023).
 43. *Ремчуков К.* Китай наращивает запасы золота и продаёт гособлигации США в ожидании усиления санкций // *Независимая газета*. 10.05.2023. https://www.ng.ru/monitoring/2023-05-10/7_8719_monitoring.html (Дата обращения 17.06.2023).
 44. Си Цзиньпин встретился с канцлером ФРГ О. Шольцем. Синьхуа Новости. 05.11.2022. <https://russian.news.cn/20221105/73d5baac7b8e44ed994bd471b43ee780/c.html> (Дата обращения 17.06.2023).
 45. Совместное заявление РФ и КНР об углублении отношений всеобщего партнёрства и стратегического взаимодействия, вступивших в новую эпоху // *Российская газета*. 21.03.2023. <https://rg.ru/2023/03/21/sovместnoe-zaiavlenie-rf-i-kr-ob-uglublenii-otnoshenij-vseobemliushchego-partnerstva-i-strategicheskogo-vzaimodejstviia-vstupaiushchih-v-novuiu-epohu.html> (Дата обращения 17.06.2023).
 46. *Martin B. et al.* What Taiwan's Dom: Dominance in Semiconductor Production Means for the US. The RAND Corporation, 2023. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA2354-1.html (Дата обращения 17.06.2023).
 47. *Пороховский А.А.* Национальная инфраструктура как фактор экономического развития США // *США & Канада: экономика, политика, культура*. 2022. № 6. С. 5–20.
 48. Opening Testimony by Secretary of Defense. Lloyd J. Austin III. Before the House Armed Services Committee Budget Posture Hearing. March 29, 2023. US DoD. <https://www.defense.gov/News/Speeches/Speech/Article/3344458/opening-testimony-by-secretary-of-defense-lloyd-j-austin-iii-before-the-house-a/> (Дата обращения 17.06.2023).

49. Structure of Federal Debt and Extraordinary Measures. Congressional Research Service. May 2023. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IN/IN12149> (Дата обращения 17.06.2023).
50. *Виноградов А.В.* Вступая во второе столетие КПК. От экономических реформ к политическим // Мировая экономика и международные отношения. 2022. № 10. С. 5–12.
51. *Bergsten F.* The United States vs. China: The Quest for Global Economic Leadership. Peterson Institute for International Economics. April 2022. <https://www.amazon.com/United-States-vs-China-Leadership/dp/1509547355> (Дата обращения 15. 04.2023).
52. Премьер Госсовета КНР: Китай и США могут и должны сотрудничать // Жэньминь жибао. 13 февраля 2023. <http://russian.people.com.cn/n3/2023/0313/c31521-10221429.html> (Дата обращения 15.04.2023).
53. *Машиуков С.* Дженет Йеллен предупреждает, что разрыв экономических связей с Китаем может привести к катастрофе // Эксперт. 21 апреля 2023. <https://expert.ru/2023/04/21/yellen-kitay/> (Дата обращения 15.04.2023).
54. Встреча с главами правительств СНГ и ЕАЭС // Официальный сайт Президента РФ. 9 июня 2023. <http://www.kremlin.ru/events/president/news/71327> (Дата обращения 15. 04.2023).

PROCESSES OF GLOBALIZATION AND DEGLOBALIZATION IN CONDITIONS OF GROWING CONFRONTATION BETWEEN THE USA AND CHINA AND RUSSIA'S INTERESTS

A. A. Kokoshin^{1,2#} and Z. A. Kokoshina^{3,##}

¹*Institute for Advanced Strategic Studies, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia*

²*Faculty of World Politics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

³*Institute of Sociology, Federal Research Sociological Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[#]*E-mail: aakokoshin@gmail.com*

^{##}*E-mail: zlata.kokoshina77@gmail.com*

According to the authors of the article, issues of globalization and deglobalization need to be considered primarily through the prism of the growing confrontation between the two largest states in the world – USA and China. The scale and depth of this confrontation is growing; it is becoming more and more ideological, as well as political-military in character. United States due to a complex set of internal problems are now the main driving force behind deglobalization, although 25–30 years ago it was this country that was at the forefront of the reverse process – globalization. On the contrary, the leadership of the PRC, which has received great benefits from participation in the economic globalization, including within the framework of the World Trade Organization, persistently demonstrates its commitment to the growing economic interdependence of countries and regions. This commitment is noted, among other things, in Russian–Chinese documents of the highest level. The processes of globalization and deglobalization are of great importance for the socio-economic development of Russia, whose economy is part of the world economy, despite all the antirussian efforts of the collective West as part of its hybrid war against the Russian Federation.

Keywords: globalization, deglobalization, geopolitical confrontation, scientific and technological rivalry, protectionism, socio-economic development, global chains of added value, interests of Russia, new social reality of Russia.

РОЛЬ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

© 2023 г. В. П. Якушев^{a,*}, В. В. Якушев^{a,**}, С. Ю. Блохина^{a,***}, Ю. И. Блохин^{a,****},
Д. А. Матвеев^{a,*****}

^aАгрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: vyakushev@agrophys.ru

**E-mail: mail@agrophys.com

***E-mail: sblokhina@agrophys.ru

****E-mail: blohin3k4@gmail.com

*****E-mail: dmatveenko@inbox.ru

Поступила в редакцию 24.04.2023 г.

После доработки 03.07.2023 г.

Принята к публикации 15.07.2023 г.

Проведена оценка возрастающей роли данных дистанционного зондирования Земли, методов, сервисов и средств их получения и использования в растениеводстве. Рассмотрены основные проблемы, сдерживающие масштабируемость применения аэрокосмических снимков в точном земледелии. Подчёркнута необходимость создания новой методологии исследований, формирования соответствующей физико-технической и экспериментальной инфраструктуры для преодоления обозначенных проблем. Продемонстрировано применение методологии планирования и проведения специализированных экспериментов в сочетании с дистанционным и наземным мониторингом полевых опытов с тестовыми площадками с целью обнаружения внутрислоевого неоднородности и определения степени её интенсивности. Для этого создан функционал, реализующий возможности двух новых методов выявления внутрислоевого изменчивости и границ её интенсивности по аэрофотоснимкам. В первом случае используется главный инструментальный геостатистики – вариограммный анализ, во втором – системная количественная оценка динамики изменения интегральных оптических характеристик посева.

Ключевые слова: точное земледелие, данные дистанционного зондирования, прецизионные полевые опыты, тестовые площадки, инфраструктура проведения исследований, вариограммный анализ, вегетационные оптические индексы, алгоритмы и программы.

DOI: 10.31857/S0869587323100110, EDN: AACJGA

В настоящее время усиливается роль ряда негативных факторов (изменение климата, прогнозируемый рост населения мира, ограниченность водных и энергетических ресурсов, сокращение площади пахотных земель и др.), оказывающих

существенное влияние на глобальную продовольственную безопасность [1–3]. Актуальным научно обоснованным ответом на необходимость обеспечения продовольственной безопасности России выступает масштабирование процесса перелома сельскохозяйственного производства на новый технологический уклад “умного сельского хозяйства” [4–6]. В основе развития современного агропромышленного комплекса (АПК) лежит природный потенциал нашей страны. В России сосредоточено 9% мировой продуктивной пашни, более половины мировых чернозёмов и 20% запасов пресной воды. Тем не менее без разработки средств автоматизации, обеспечивающих построение адаптивно-ландшафтных систем земледелия для конкретных хозяйств, внедрения биологиче-

ЯКУШЕВ Виктор Петрович – академик РАН, руководитель отдела моделирования адаптивных агротехнологий АФИ. ЯКУШЕВ Вячеслав Викторович – член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией информационного обеспечения точного земледелия АФИ. БЛОХИНА Светлана Юрьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник АФИ. БЛОХИН Юрий Игоревич – научный сотрудник АФИ. МАТВЕЕНКО Дмитрий Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник АФИ.

ски и экономически обоснованных севооборотов и соответствующих агротехнологий, включая технологии точного земледелия (ТЗ), отечественному АПК будет крайне затруднительно увеличить производство сельскохозяйственных культур и достичь более высоких экономических показателей. Информационные технологии ТЗ признаны перспективным направлением адаптации агротехнологий к внутритролевой неоднородности агроландшафтов.

Сельскохозяйственные территории нашей страны характеризуются существенной естественной (природной) пространственно-временной неоднородностью, а также антропогенной изменчивостью из-за многочисленных нарушений регламентов и технологий землепользования. В пределах даже одного поля может наблюдаться значительное варьирование агрохимических, агрофизических, фитосанитарных и прочих количественных или качественных показателей, от которых зависит урожайность. Точное земледелие – комплексный подход к управлению производством растениеводческой продукции. Особое внимание уделяется анализу пространственной вариативности показателей, влияющих на формирование урожая, которыми можно управлять посредством дифференциации норм технологического воздействия на посевы в пределах отдельного сельскохозяйственного поля. Особую роль в развитии методологии прецизионного производства играют коммуникационные технологии и сенсорные сети, обеспечивающие автоматизированный сбор разнородной информации и интеллектуальный анализ, что существенно расширяет представление о реальных потребностях сельхозпроизводителей [7, 8]. В процессе планирования и принятия обоснованных управленческих решений используются дополнительные возможности для достижения более высокой производительности и снижения антропогенной нагрузки на систему “посев – среда обитания” [9]. Необходимо признать факт недостаточного использования в нашей стране наиболее активно развивающихся методов и технологий “умного сельского хозяйства” и его ключевого сегмента – точного земледелия – при производстве растениеводческой продукции.

В настоящее время для выявления внутритролевой неоднородности, как правило, применяются преимущественно контактные методы, требующие значительных материальных и временных затрат. Для анализа используются агрохимические и агрофизические показатели дискретно отобранных образцов почвы и растений. Поэтому такое определение изменчивости субъективно, так как обусловлено той или иной схемой отбора образцов [10–12]. Более перспективный, хотя и затратный метод внутритролевых исследований – применение мобильных комплексов для

измерения в движении и картирования основных характеристик пахотного слоя почвы: объёмной влажности, электропроводности, температуры и сопротивления горизонтальной пенетрации¹ [13]. Пространственное распределение агрофизических параметров, измеренных с помощью мобильных комплексов, используется для сбора опорной информации, необходимой для дешифрирования аэрокосмических снимков [14].

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяют осуществлять интеллектуальный анализ информации, характеризующей состояние посевов на значительных площадях, что практически невозможно при проведении наземных исследований. Учитывая весьма существенную площадь территории России, средствам и технологиям ДЗЗ нет альтернативы при решении задач эффективного управления землями сельскохозяйственного назначения.

В работе [15] авторы предприняли попытку комплексно проанализировать состояние информационного обеспечения процесса проектирования адаптивно-ландшафтных систем земледелия с установлением объективных причин, которые не позволяют повсеместно обеспечить высокие и устойчивые урожаи, потенциально возможные в конкретных почвенно-климатических условиях. Рассмотрены перспективные методы и технологии совершенствования уровня информационного обеспечения сельскохозяйственной отрасли, включая средства и технологии дистанционного зондирования. Так как со времени публикации статьи [15] существенно изменились возможности оперативного получения и анализа данных ДЗЗ (применение мультиспектральной и гиперспектральной камер на платформах беспилотных летательных аппаратов) и был разработан функционал новых методов выявления внутритролевой неоднородности в рамках междисциплинарного гранта РФФИ, авторы посчитали целесообразным обобщить материалы по информационному обеспечению точного земледелия на основе данных дистанционного зондирования. В связи с этим цель настоящей работы – дать оценку современного уровня применения методов, сервисов и средств ДЗЗ в информационном обеспечении сельского хозяйства и систем точного земледелия. Рассмотрены основные проблемы, ограничивающие масштабируемость применения данных ДЗЗ в прецизионном производстве растениеводческой продукции, и обоснована необходимость создания новой методологии исследований и формирования соответствующей физико-технической экспериментальной инфраструктуры для решения указанных проблем. Проанализированы результаты, полученные в рамках развиваемой

¹ Пенетрация – косвенный метод определения физико-механических свойств грунтов внедрением наконечника.

в Агрофизическом научно-исследовательском институте (АФИ) методологии обоснования применения агроприёмов точного земледелия на заданной сельскохозяйственной территории и определения по данным ДЗЗ степени интенсивности внутривидовой изменчивости на основе вариограммного анализа и комплексной оценки динамики изменения ряда оптических индексов, характеризующих состояние посева, а также их сопряжённого использования в специализированных вычислительных экспериментах.

Современное использование дистанционного зондирования в информационном обеспечении точного земледелия. Дистанционное зондирование в сельском хозяйстве основано на оценке взаимодействия отражённого электромагнитного излучения с почвой или растительностью. Радиация, отражённая от посевов сельскохозяйственных культур, содержит информацию о биохимическом составе, физиологическом состоянии растений и позволяет по спектральным характеристикам оценить их реакцию на действие различных стрессоров [16]. Оптические характеристики открытой поверхности почвы в первую очередь зависят от её влажности и содержания органического вещества, а также глинистых минералов и карбонатов кальция или оксидов железа [17, 18]. Из-за этого наблюдается их высокая вариабельность, что затрудняет интерпретацию свойств почвы.

Дистанционные методы в сельском хозяйстве применяются с 1972 г. [19, 20], когда был запущен спутник Landsat 1. Размещённая на нём много-спектральная сканирующая аппаратура позволяла получать изображения с пространственным разрешением 80 м. Запуски в 1984 г. спутника Landsat 5 с аппаратурой для получения изображений с пространственным разрешением 30 м в синем, зелёном, красном, ближнем инфракрасном и трёх инфракрасных диапазонах, а в 1986 г. — спутника SPOT-1 с аппаратурой, позволяющей получать изображения с пространственным разрешением 20 м в тех же диапазонах при частоте получения данных до шести дней, открыли возможности для более качественного и масштабно-го использования данных ДЗЗ для оценки и прогноза состояния агроландшафтов с различными сельскохозяйственными культурами.

Начало более активного применения данных дистанционного зондирования Земли связано с появлением и развитием в конце XX в. точного земледелия. Исследователи давно осознали необходимость составления почвенных карт с целью устойчивого управления природными ресурсами. Знание физических, биологических и химических свойств почвы важно для разработки и реализации стратегий управления сельскохозяйственными культурами, которые выступают важ-

ными компонентами ТЗ. В начале 1990-х годов стали применять проксимальное почвенное зондирование, основанное на измерении пространственной динамики почвенных показателей с помощью сенсоров, установленных на сельскохозяйственной технике [21]. Были разработаны специальные датчики для определения хлорофилла в растениях и принципы проксимального зондирования посевов, которые стали использоваться для управления азотным режимом сельскохозяйственных культур [22, 23]. Существенные изменения пространственного разрешения данных дистанционного зондирования связаны с запуском в 2008–2009 гг. группы спутников: RapidEye (Германия), GeoEye-1 (США) и WorldView-2 (DigitalGlobe). Появилась возможность осуществлять съёмку любой точки планеты и получать качественные данные с разрешением, которое стало составлять несколько сантиметров (GeoEye и WorldView). Периодичность получения снимков сократилась с 18 до 1 дня (WorldView), а количество спектральных полос, доступных для анализа, возросло с 4 до 8. С помощью снимков со спутника GeoEye появилась возможность использовать Интернет для визуализации объектов землепользования в любой части мира.

Дистанционное зондирование имеет большой потенциал при решении задач управления в точном земледелии практически во всех его аспектах — от обработки почвы до уборки урожая [24, 25]. Наряду со спутниковой информацией для решения множества задач ТЗ широко применяются снимки, полученные с беспилотных летательных аппаратов: оперативный мониторинг состояния посевов [26, 27], оценка динамики изменения биомассы на сельскохозяйственном поле [28], обнаружение и классификация посевов [29], выявление вредителей и болезней на сельскохозяйственном поле [30–33] и др. Всё более востребованной для оперативного решения актуальных задач в точном земледелии становится мультиспектральная съёмка [34]. В настоящее время мультиспектральные изображения, получаемые со спутников Landsat, SPOT и Sentinel-2, используются для определения таких показателей посевов, как содержание хлорофилла в растениях, биомасса и урожайность. Однако спектральное разрешение подобных снимков ограничивает точность вычисления значений идентификационных показателей, поэтому подаваемые растениями сигналы о возникших стрессах (например, дефиците питательных веществ, воды, болезнях) невозможно своевременно обнаружить. Гиперспектральные изображения позволяют выявлять спектральные детали, которые могут остаться незамеченными среди мультиспектральной информации из-за их дискретного и разрежённого характера. С помощью гиперспектральных данных удаётся обнаруживать даже едва заметные разли-

чия растительного и почвенного покрова и динамику их изменений с течением времени [35, 36]. Отличительная особенность этих данных – большое количество регистрируемых каналов (от 200 до 1000) и узкая ширина каждого из них (менее 10 нм), что позволяет качественно улучшить мониторинг агроландшафтов, особенно для более детального изучения состояния посевов в интересах поддержки технологии ТЗ. Во всём мире возрастает доступность гиперспектральной съёмки с воздуха или из космоса.

Важно отметить, что аэрокосмические снимки способствуют повышению качества и масштабов информационного обеспечения АПК России для решения различных задач точного земледелия и мелиорации [37]. В 2012 г. в связи с острой необходимостью разработки принципиально новых подходов и методов организации работы с большими объёмами постоянно обновляющейся информации на базе Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) был создан Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа данных спутниковых наблюдений (ЦКП “ИКИ-мониторинг”), который активно функционирует и развивается, в том числе в интересах сельского хозяйства [38]. С 2003 г. в ИКИ РАН ежегодно проходит международная конференция “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса” (<http://conf.rse.geosmis.ru/>), с 2015 г. в АФИ – Всероссийская конференция с международным участием “Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве” (<https://agrophys.ru/>). На этих форумах широко освещаются вопросы информационного обеспечения сельского хозяйства данными ДЗЗ.

Основные проблемы, сдерживающие масштабируемость применения данных ДЗЗ в точном земледелии, и перспективы их преодоления. Переход к информационным технологиям точного земледелия в сельскохозяйственном производстве требует немало времени и усилий. Основное отличие ТЗ от традиционных способов земледелия заключается в дифференциации технологических воздействий в соответствии с внутривидовой изменчивостью условий, определяющих ход продукционного процесса и формирование интегральной урожайности. Поэтому фундаментальная проблема перехода к ТЗ – необходимость разработки теории и методов выявления внутривидовой неоднородности по разнородным данным, включая данные ДЗЗ, обеспечивающие непосредственное управление продукционным процессом. Использование данных ДЗЗ в растениеводстве сдерживается по ряду объективных причин. Прежде всего это затраты на приобретение сельскохозяйственной техники, навигационного оборудования и программного обеспечения, неочевидное осознание будущего экономического эффекта, пробле-

мы интерпретации данных дистанционного зондирования по отношению к почвенно-климатическим условиям производителя, объективные сложности выбора оптимального решения и недостаток профессионализма в целом.

Одной из главных причин, сдерживающих масштабируемость перехода к технологиям точного земледелия (наряду с указанными выше), выступает отсутствие надёжных и недорогих методов обнаружения и количественной оценки степени интенсивности внутривидовой неоднородности по данным ДЗЗ и её пространственного распределения по заданной сельскохозяйственной территории. Отсутствие эффективных методов можно объяснить принципиальной сложностью интерпретации данных дистанционного зондирования. Для их использования при управлении ростом и развитием сельскохозяйственных культур необходимо найти соответствие между реальным состоянием посевов и результатами ДЗЗ. При этом возникает множество трудностей, так как нужно изучить спектры отражения растений в различных условиях, найти соответствие между спектрами отражения и физиологическим состоянием, которое необходимо определить при помощи наземных измерений в конкретный момент. Следует иметь в виду, что даже одно и то же растение на разных типах почвы, в разных погодных или климатических условиях может иметь различный оптический спектр отражения. Поэтому выявленные в одном регионе зависимости не всегда могут быть актуальными для других почвенно-климатических условий.

Для преодоления главной проблемы, сдерживающей масштабируемость перехода к ТЗ посредством разработки эффективных методов обнаружения и количественной оценки степени интенсивности внутривидовой неоднородности по данным ДЗЗ, важно разработать новые подходы, методологическую основу исследований и создать соответствующую инфраструктуру их обеспечения. Общепринятая практика исследований в сельскохозяйственной науке устарела и не соответствует требуемому уровню. Для совершенствования опытного дела необходимы мобильные и стационарные информационно-измерительные комплексы для сопряжённого наземного и дистанционного мониторинга почвенно-климатических условий. Результаты наземных и дистанционных измерений должны анализироваться совместно, дополняя друг друга. Анализ разнородных данных, полученных в одни и те же сроки и на одних и тех же участках полей, будет способствовать повышению точности диагностики и определению зависимостей между оптическими показателями и физиологическим состоянием посевов.

В АФИ разработана и постоянно совершенствуется методология планирования и проведе-

ния сопряжённых дистанционных и наземных исследований, предназначенная для поиска новых подходов к обнаружению внутриполевой неоднородности и идентификационных оптических показателей для оценки состояния посевов в основные фазы развития сельскохозяйственных культур. Полигон института оснащён мобильным и стационарным измерительным оборудованием, средствами аэрозондирования (мультиспектральная камера Micasense RedEdge-MX, гиперспектральная камера Pika L, установленные на беспилотном летательном аппарате Matrice 600 Pro) и роботизированной сельскохозяйственной техникой для проведения агроприёмов ТЗ в полевых условиях. Так, для реализации междисциплинарного проекта РФФИ «Разработка теоретических основ дистанционной и наземной количественной оценки внутриполевой изменчивости для точного земледелия» ежегодно с 2019 по 2022 г. закладывались прецизионные полевые опыты с тестовыми площадками. В 2019–2021 гг. моделировался полный спектр азотного питания с различными нормами высева семян, а в 2022 г., наряду с ним, моделировалась различная водообеспеченность на тестовых площадках. Опытные площади, включая тестовые, засеивались различными зерновыми культурами. Тестовые площадки представляют собой незначительные по площади участки поля (обычно от 10 до 100 м²). На них создаются стрессовые и благоприятные для роста и развития сельскохозяйственных культур условия. Контролируемое физическое моделирование условий на тестовых площадках неизбежно приводит к различию оптических характеристик растений на аэрокосмических снимках. Особенно информативны гиперспектральные аэроснимки, которые были получены в ходе комплексных исследований по обнаружению и выделению границ внутриполевой изменчивости [39, 40]. Тестовые площадки в опытах играют роль источника формирования опорных данных и своеобразных эталонов для выявления и верификации связей между оптическими показателями факторов продуктивности посевов и изучаемым диапазоном их изменения, которым физически возможно управлять.

Важно отметить, что на полигоне АФИ нет оросительной системы, поэтому эффективно управлять стрессовыми и благоприятными условиями водного режима почвы довольно проблематично. Влажность почвы – быстро изменяющаяся характеристика, поэтому оперативный мониторинг её значений необходим для интерпретации данных ДЗЗ. Для этого использовалась разработанная в АФИ информационно-измерительная система, включающая автономные сенсорные узлы с датчиками наземного и подземного размещения, базовую станцию, оснащённую метеодатчиками (рис. 1–3), и удалённый сервер [41].

Автономные сенсорные узлы предназначены для оперативного мониторинга влажности и температуры почвы и беспроводной передачи измерений на сервер.

Базовая станция с интернет-каналом передачи метеорологических данных оснащена датчиками измерения температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра, интенсивности фотосинтетически активной радиации, количества атмосферных осадков. Удалённый сервер обеспечивает беспроводной сбор и первичную обработку данных, полученных сенсорными узлами и базовой станцией.

Таким образом, применение методологии планирования и проведения специализированных экспериментов с тестовыми площадками и сопряжённый дистанционный мониторинг полевых опытов позволили разработать новые подходы к обнаружению внутриполевой неоднородности и определению степени её интенсивности, а также выявить ряд идентифицирующих показателей, характеризующих состояние посевов по данным ДЗЗ.

Полученные результаты будут рассмотрены ниже, здесь же следует отметить роль созданной на полигоне АФИ инфраструктуры для обеспечения исследований и перспективы применения сенсорных сетей как одной из важных составляющих информационно-измерительной системы. С их помощью открывается возможность инструментального контроля динамики агрофизических свойств почвы и метеословий в режиме реального времени, что позволяет более обоснованно устанавливать причину изменения оптических показателей, рассчитанных по аэрокосмическим снимкам. Открываются также перспективы использования динамических математических моделей для прогноза показателей, определяющих ход продукционного процесса сельскохозяйственных культур и урожайность. Представленная инфраструктура обладает преимуществами взаимодополняемости между данными ДЗЗ и наземными синхронными измерениями и вычислениями. Объединение такого подхода с машинным обучением и другими аналитическими и информационными методами и технологиями обуславливает результативность исследований и даёт новые возможности для их проведения в интересах точного земледелия.

Перспективы масштабируемости точного земледелия по данным ДЗЗ. Определить целесообразность перехода к точному земледелию (ТЗ) невозможно без количественной оценки степени интенсивности внутриполевой вариабельности показателей, влияющих на количество и качество урожая. Это ключевая задача ТЗ, актуальная в современном растениеводстве. В ходе исследований в рамках гранта РФФИ с июля 2019 г. по фев-



Рис. 1. Сенсорный узел (а), оснащённый оптическим датчиком для мониторинга состояния растительности, и базовая станция с интернет-каналом передачи данных для мониторинга метеорологических параметров (б)



Рис. 2. Расположение информационно-измерительной системы на экспериментальном поле

раль 2023 г. осуществлялся интеллектуальный сопряжённый анализ аэрокосмических снимков и результатов наземных измерений в специализированных полевых опытах с тестовыми площадками, где моделировались стрессовые и благоприятные условия возделывания зерновых культур в соответствии с рассмотренной выше методологией. В итоге получила развитие теория, на базе ко-

торой создан функционал для реализации двух новых методов определения степени интенсивности внутрислоевого изменчивости на основе данных ДЗЗ. Один из них основан на главном инструментарии геостатистики — вариограммном анализе, второй — на комплексной количественной оценке динамики изменения значений ряда выявленных оптических индексов, характеризу-



Рис. 3. Сенсорный узел с солнечной панелью, антенной, блоком питания, пятиканальным влагомером, установленным в обсадной трубе (справа)

ющих биохимический состав и физиологическое состояние растений. Соответствующие результаты обобщены в коллективной монографии [41], где сформулированы основные выводы, предложения по развитию исследований и внедрению их результатов в управление сельскохозяйственным производством. Потенциал их применения, безусловно, будет способствовать масштабируемости перехода к точному земледелию в России. Ниже будут кратко рассмотрены новые возможности использования данных дистанционного зондирования в интересах ТЗ с помощью разработанных методов.

Вариограммный анализ позволяет описать пространственную неоднородность сельскохозяйственного поля в виде суммы трёх компонент (макро-, мезо- и микросоставляющей), каждой из которых в соответствии с её частотными свойствами даётся физическая интерпретация. В разработанной методике [42] показано, что целесообразность применения ТЗ в каждом конкретном случае зависит от соотношения мезо- и микрокомпоненты, характеризующих пространственную изменчивость изучаемого фактора Z . В методике представлены соответствующее обоснование, расчётные формулы, номограммы, а также последовательность вычислительных шагов вариограммного анализа. Кратко перечислим этапы геостатистических исследований.

Шаг 1. Предварительная обработка исходной информации: анализ и определение оптимального объёма выборки наблюдений, выявление и

удаление аномалий (выбросов), проверка геостатистических гипотез.

Шаг 2. Построение эмпирической вариограммы $\gamma(h)$ изучаемого параметра Z по формуле:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2, \quad (1)$$

где: $\gamma(h)$ – число пар экспериментальных точек x_i , разделённых вектором h .

Шаг 3. Построение теоретической модели эмпирической вариограммы определённой аналитической зависимостью. Для аппроксимации используются сферическая, экспоненциальная, гауссовская, степенная и другие теоретические модели. На рисунке 4 представлены основные компоненты вариограммы на примере сферической модели:

$$\gamma(h) = \begin{cases} c_0 + c_1 \left[\frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], & \text{при } 0 \leq h \leq a, \\ c = c_0 + c_1, & \text{при } h > a \end{cases} \quad (2)$$

где: c_0 – самородок, величина вариограммы при $h = 0$; $(c_0 + c_1)$ – порог предельного значения вариограммы; a – ранг (лаг), расстояние, на котором оно достигается.

Шаг 4. Аналитическое построение нормированной вариограммной функции и вычисление её параметров. Левую и правую части формулы (2)

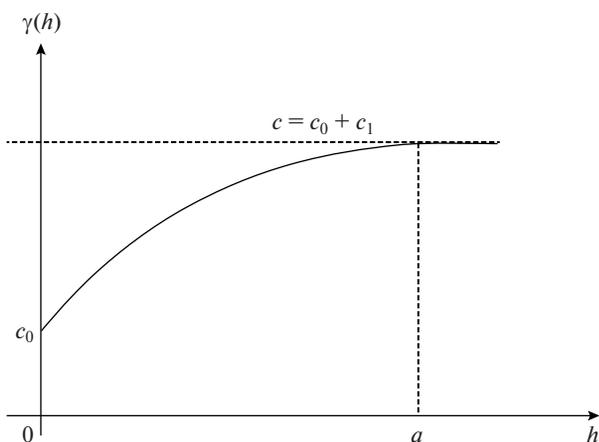


Рис. 4. Основные компоненты вариограммы (сферическая модель)

делим на $c = c_0 + c_1$ и переходим от вариограммы $\gamma(h)$ к нормированной полудисперсии $v(\mu)$:

$$v(\mu) = \begin{cases} \xi + (1 - \xi)T(\mu), & \text{при } 0 \leq \mu \leq 1, \\ 1, & \text{при } \mu > 1 \end{cases} \quad (3)$$

где: $\xi = c_0/c_0 + c_1$ – относительная нагет-дисперсия; $\mu = h/a$ – расстояние, выраженное в единицах ранга; $T(\mu)$ – полином, определяемый равенством

$$T(\mu) = \frac{3}{2}\mu - \frac{1}{2}\mu^3.$$

Шаг 5. Анализ расчётов и принятие решений. На данном этапе воспользуемся содержательным значением величины ξ . Для больших полей ($\mu \geq 1$), в пределах которых пространственные корреляционные связи варьирующегося показателя полностью затухают, мы имеем v , равное 1, и целесообразность (или нецелесообразность) использования точной технологии достаточно оценить только исходя из значения ξ , то есть на основании анализа нагет-дисперсии, которая определяет долю микрокомпоненты в общей неоднородности рассматриваемого сельскохозяйственного поля. Это следует из того, что с увеличением площади поля его неоднородность всё в большей степени определяется мезокомпонентой, в то время как доля микрокомпоненты постепенно снижается, то есть чем меньше нагет-дисперсия, тем перспективнее изучаемая сельскохозяйственная территория для целей ТЗ. Диапазон изменений относительной нагет-дисперсии варьируется от 0 до 1 (рис. 5). Отмеченное важное свойство величины ξ используется в двух приведённых ниже вычислительных экспериментах, демонстрирующих эффективность вариограммного анализа для оценки применимости технологии ТЗ по распределению вегетационного индекса на сельскохозяйственном поле. Но сначала следует рассмотреть

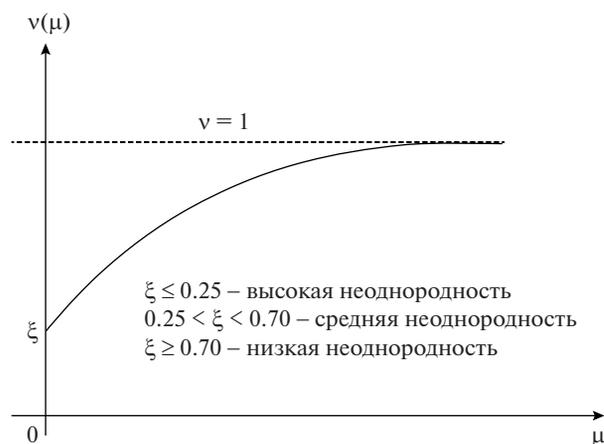


Рис. 5. Общий вид нормированной вариограммы

второй метод выявления внутриполевой неоднородности.

Наряду с вариограммным анализом для обнаружения внутриполевой неоднородности используются наиболее перспективные вегетационные индексы: ChlRI – содержание хлорофилла, SIPI – отношение каротиноидов к хлорофиллу, R_{800} – мера рассеяния света листом, PRI – фотохимическая активность, ARI – содержание антоцианов, FRI – содержание флавонолов, WRI – содержание воды. Системное применение данных индексов позволяет определять содержание фотосинтетических пигментов, наличие в тканях растений антоцианов, флавонолов, воды, оценивать активность процессов фотосинтеза и в целом осуществлять дистанционную оценку заданного сельскохозяйственного поля, а также выявлять на нём участки, где сложился дефицит азотного питания и/или воды. В АФИ впервые определены корреляционные связи между дистанционно измеренными оптическими характеристиками посева и спектральными показателями диффузного отражения листьев в условиях полевого опыта с тестовыми площадками [43], а также установлена зависимость оптических характеристик различных индексов от густоты стояния растений и в наибольшей степени от дозы внесённых по фазам развития яровой пшеницы азотных удобрений (рис. 6, 7). Для проведения комплексного анализа динамики значений различных индексов разработан базовый алгоритм обнаружения и выделения границ внутриполевой неоднородности [44] и осуществлена его программная реализация (свидетельство № 2023611147 от 17.01.2023 г.). В основе базового алгоритма лежит процесс формирования и использования проблемно-ориентированной базы знаний и геопространственной базы разнородных данных.

База данных содержит гиперспектральные снимки (на этапе разработки метода – аэросним-

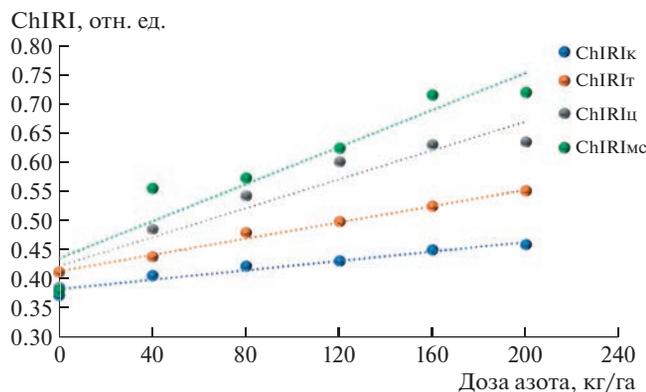


Рис. 6. Индекс отражения хлорофилла (ChIRI) листьев пшеницы в зависимости от дозы внесённых азотных удобрений. Приведены значения ChIRI, полученные на стадиях кушения (ChIRIk), выхода в трубку (ChIRIt), цветения (ChIRIц) и молочной спелости (ChIRImc)

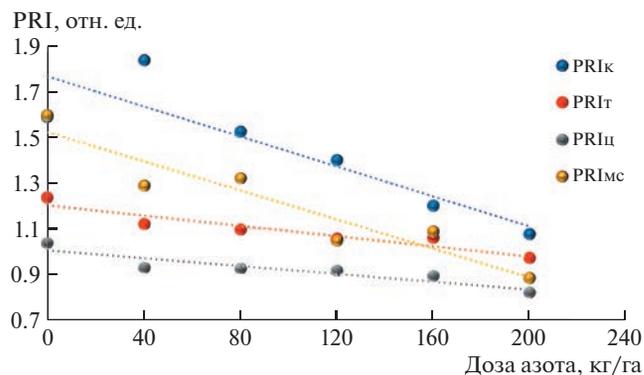


Рис. 7. Фотохимический индекс отражения (PRImod) листьев пшеницы в зависимости от дозы внесённых азотных удобрений. Приведены значения PRImod, полученные на стадиях кушения (PRIk), выхода в трубку (PRIt), цветения (PRIц) и молочной спелости (PRImc)

ки) и наземную опорную информацию для интерпретации данных ДЗЗ. Опорная информация (свидетельство о регистрации базы данных № 2021620305 от 19.02.2021 г.) к настоящему времени включает уже более 10 тыс. единиц хранения: метеоинформация, электронные карты распределения агрофизических и агрохимических показателей сельскохозяйственных полей, задействованных в экспериментальных исследованиях, данные об урожайности и другая информация, характеризующая производственный процесс зерновых культур на изучаемых полях. В базе знаний хранятся сведения о формулах расчёта вегетационных индексов по тем или иным спектральным диапазонам, а также вычисляются, накапливаются и сохраняются их значения, которые отражают физиологическое состояние посевов сельскохозяйственных культур в оптимальных и стрессовых условиях. В АФИ впервые выявлена статистика изменений вегетационных индексов, характеризующих азотный и водный режимы яровой пшеницы в оптимальных и стрессовых условиях [44].

Апробация программной реализации базового алгоритма осуществлена по данным, полученным в специализированных полевых опытах с тестовыми площадками, на которых были физически смоделированы два типа стресса: дефицит азота на фоне различной водообеспеченности посева. Гидротермический контроль водообеспеченности разных участков поля проводился, как отмечено выше, в режиме реального времени с помощью сенсорных узлов, оснащённых наземными и подземными измерительными датчиками (см. рис. 1–3). Информация от сенсорных узлов передавалась на сервер с помощью беспроводных сенсорных сетей. Оптимальный и дефицитный режимы азотного питания обеспечивались путём

закладки на поле с яровой пшеницей 12 тестовых площадок с дозами азотных удобрений в диапазоне от 0 до 200 кг д.в./га с шагом 40 кг (по шесть площадок на двух участках поля: избыточно увлажнённом в низине и с дефицитом влаги на возвышенности). Цифровые изображения были получены с помощью гиперспектральной камеры в диапазоне от 400 до 1000 нм с высоты 80 м. Пространственное разрешение полученных снимков – 3 см/пиксель, спектральное разрешение – 2.14 нм.

На рисунках 8 и 9 представлены значения ряда перспективных вегетационных индексов, рассчитанных по спектральным характеристикам тестовых площадок с различными водообеспеченностью и фоном азотного питания. На рисунке 10 приведён пример выделения зон внутриполевой неоднородности с определением типа стресса программой, которая реализует базовый алгоритм по данным на рисунках 8 и 9 [40]. Таким образом, представленная разработка позволяет обнаруживать на сельскохозяйственном поле участки с угнетёнными растениями и определять стрессор, ставший причиной угнетения. Автоматизация процесса обнаружения внутриполевой неоднородности на основе динамики изменения ряда вегетационных индексов открывает дополнительные возможности для обоснованного применения точного земледелия.

Рассмотрим подробнее два вычислительных эксперимента. В обоих случаях были построены карты распределения индекса NDVI (нормализованный разностный вегетационный индекс) для заданных сельскохозяйственных полей. Затем по картам распределения с помощью вариограммного анализа оценивалась перспективность применения агроприёмов ТЗ на заданной террито-

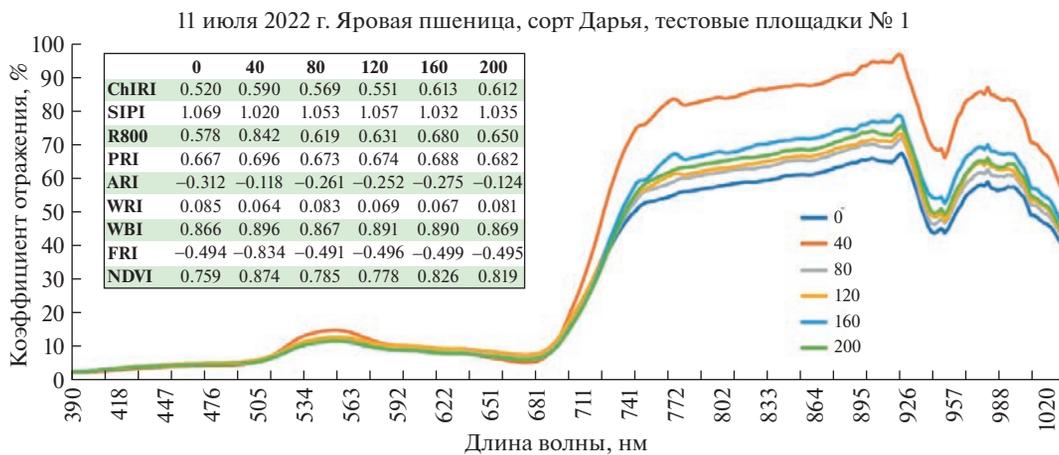


Рис. 8. Значения вегетационных индексов на тестовых площадках с разным фоном азотного питания (кг/га) и оптимальной водообеспеченностью

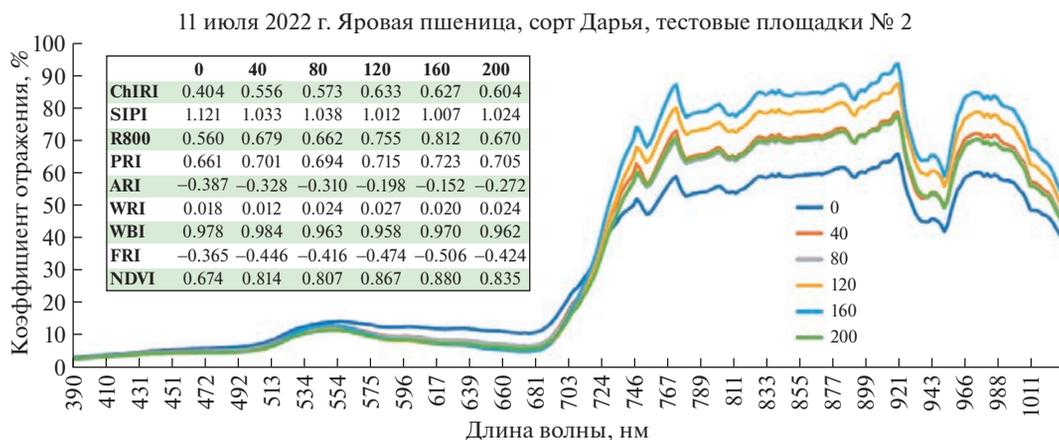


Рис. 9. Значения вегетационных индексов на тестовых площадках с разным фоном азотного питания (кг/га) и дефицитом влаги

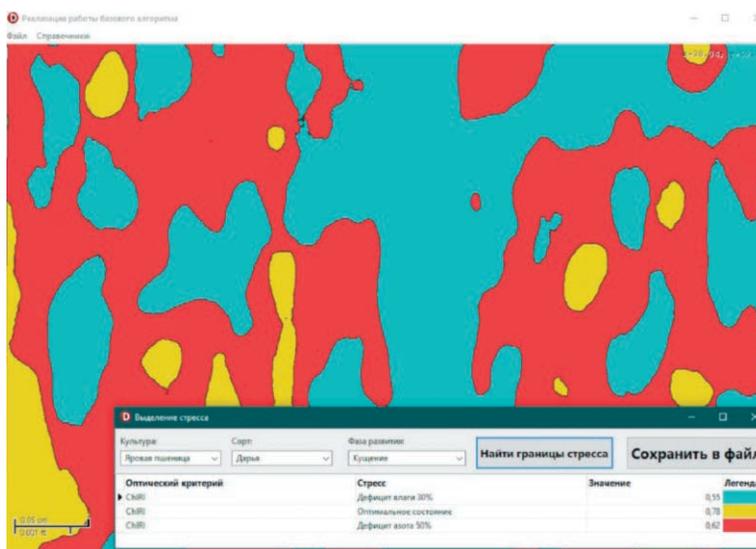


Рис. 10. Пример выделения зон внутриполевой неоднородности с определением типа стресса

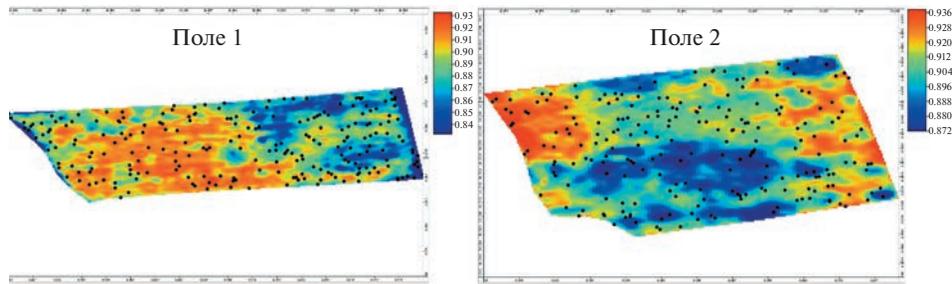


Рис. 11. Пространственное распределение NDVI

рии. Вычислить индекс NDVI достаточно легко, он имеет корреляционные связи с накоплением биомассы и продуктивностью посевов. Следует отметить, что это возможно только на ранних стадиях развития растений. Когда посев смыкается, значения NDVI выходят на плато. Использовать рассмотренные выше вегетационные индексы довольно проблематично, так как их можно вычислить точно только по гиперспектральным снимкам. Доступ к данному виду информации дистанционного зондирования в настоящее время ограничен.

Эксперимент 1. В качестве исходного космического снимка в данном вычислительном эксперименте использовался спутниковый снимок Sentinel-2 (дата съёмки 23.06.2019 г.), охватывающий территорию концерна “Детскосельский” в Ленинградской области. Оценка перспективности перехода к технологиям точного земледелия проведена на основе анализа пространственной вариабельности индекса NDVI на двух произвольно выбранных сельскохозяйственных полях, засеянных яровой пшеницей [41]. Были составлены карты распределения NDVI на двух полях (рис. 11), затем построены экспериментальные вариограммы по четырём направлениям для каждого поля. В обоих случаях присутствует эффект самородков², анизотропия³ отсутствует. Для аппроксимации выбрана наиболее близкая сферическая модель (2). Аналитический вид аппроксимации для первого поля:

$$\gamma_1(h) = \begin{cases} 0.0001 + 0.0675h - 225h^3, & 0 \ll h \ll 0.01 \\ 0.00055, & h > 0.01. \end{cases}$$

Соответственно, для второго поля уравнение теоретической модели принимает вид:

$$\gamma_2(h) = \begin{cases} 0.0001 + 0.0275h - 254.6h^3, & 0 \ll h \ll 0.006 \\ 0.00022, & h > 0.006. \end{cases}$$

² Эффект самородка — разница между измерениями при бесконечно малых расстояниях.

³ Анизотропия — отличие свойств среды в разных направлениях внутри неё.

На рисунке 12 представлены наложения теоретических моделей γ_1 и γ_2 на экспериментальные вариограммы изучаемых полей, а в таблице приведены параметры теоретических аппроксимаций. В обоих случаях размеры сельскохозяйственного поля существенно превосходят ранг вариограммных функций исследуемого параметра, из чего можно сделать вывод, что оба поля имеют достаточно большой масштаб μ . Соответственно, тогда $\nu = 1$, и вопрос об эффективности дифференциации агротехнологий может решаться, исходя из полученных значений ξ . Как видно из таблицы, для первого поля нагетт-дисперсия достаточно мала (0.182). Таким образом, переход к прецизионному производству растениеводческой продукции будет оправданным. В случае со вторым полем уровень случайной вариабельности исследуемого параметра приближается к 50% (0.46). Это свидетельствует о том, что переход к технологиям точного земледелия на нём будет менее эффективным, чем на первом поле.

Эксперимент 2. В качестве объекта выбрано опытное поле полигона АФИ, на котором в 2011 г. изучалась роль тестовых площадок и данных аэрофотосъёмки в обосновании азотных подкормок. На площадках были внесены различные известные дозы удобрений. Первая из азотных подкормок проведена 07.06.2011 г. При этом обоснование её целесообразности и определение норм дифференцированного внесения азотных удобрений осуществлялись по данным аэрофотоснимка от 03.06.2011 г. Анализ проводился путём сравнительной оценки цветовых характеристик тестовых площадок с остальными зонами поля. Для этого использовалась специальная компьютерная калибровочная программа, позволяющая выявить связь между дозами азота и значениями пространственного распределения обобщённой характеристики цвета посева по полю [12]. Когда посев яровой пшеницы даже визуально стал более однородным благодаря азотной подкормке (07.06.2011 г.), был сделан ещё один аэрофотоснимок поля (11.06.2011 г.). Его анализ подтвердил отсутствие необходимости проведения дополни-

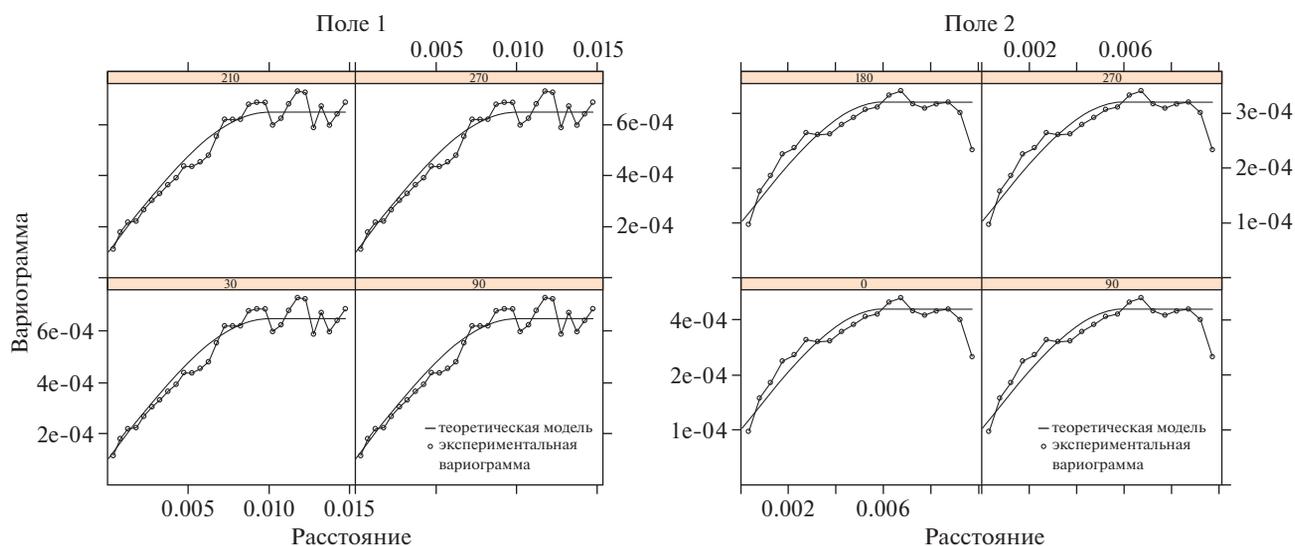


Рис. 12. Результаты наложения теоретических моделей на экспериментальные вариограммы

тельной азотной подкормки на данной фазе развития растений.

Целью вычислительного эксперимента стала геостатистическая оценка аэрофотоснимков, сделанных в июне 2011 г., с помощью вариограммного анализа. При этом тестовые площадки были исключены из анализа. Исходя из изложенных выше деталей полевого опыта заведомо было достоверно известно, что результаты анализа снимка яровой пшеницы от 03.06.2011 г. подтвердят целесообразность проведения дифференцированной азотной подкормки. Аэрофотосъёмка от 11.06.2011 г. показала, что посев стал более однородным, и дополнительная коррекция азотного режима не требуется.

В работе [40] приведено подробное описание второго вычислительного эксперимента и установлено, что значения наггет-дисперсии нормированных вариограммных функций аэрофотоснимков до подкормки и после неё составили 0.186 и 0.620 соответственно. Существенное различие значений позволяет сделать вывод об обоснованности азотной подкормки 07.06.2011 г. и об отсутствии необходимости её проведения 11.06.2011 г., то есть геостатистический анализ подтвердил результаты ранее выполненных исследований.

Таким образом, вариограммный анализ служит эффективным методом оценки внутривидовой неоднородности по данным ДЗЗ, который позволяет без использования тестовых площадок определить степень её интенсивности по заданному параметру Z . Представленные выше результаты вычислительных экспериментов, проведённых по спутниковым и аэрофотоснимкам, подтверждают работоспособность и перспективность метода. Однако важно отметить, что для практического использования в вариограммном анализе данных спутниковых и особенно аэрофотоснимков необходима их предварительная обработка в соответствии с шаговой методикой, рассмотренной выше. Прежде всего речь идёт об уменьшении объёма исходной информации снимков высокого разрешения. В частности, пространственное разрешение аэрофотосъёмки, которая проводится на полигоне АФИ, составляет от 2 до 4 млн пикселей/га в зависимости от аппаратуры. Опыт использования вариограммного анализа показал, что для его проведения достаточно 100 точек экспериментальных измерений на площади 2–3 га.

В АФИ разработан подход к определению оптимального объёма входных данных ДЗЗ с помощью геостатистической оценки нормированных вариограмм, построенных с использованием существенно различающихся объёмов входной ин-

Таблица 1. Параметры построенных вариограмм

Номер поля	c_0 – самородок	c_1	c – порог	a – ранг	ξ – наггет-дисперсия
1	0.0001	0.00045	0.00055	0.01	0.182
2	0.0001	0.00011	0.00022	0.006	0.46

формации [45]. Анализ показал, что в случае со снимками с разрешением 7–10 см/пиксель оптимально учитывать только 0.5–1% от общего числа пикселей (с равномерным распределением точек на снимке). Для реализации рассматриваемого подхода и в целом для геостатистических исследований необходимы построение и последующая оценка не одного десятка эмпирических вариограмм и их функциональных аппроксимаций. Поскольку провести такую работу вручную весьма сложно, необходима автоматизация данного процесса. В связи с этим был создан прототип геостатистического модуля как составной части программного веб-сервиса с целью реализации общего алгоритма вариограммного анализа. Функционал модуля базируется на использовании языка программирования R, обладающего рядом преимуществ: открытый исходный код и бесплатный доступ, большое количество поддерживаемых и регулярно пополняемых пакетов, широкие графические возможности, высокая совместимость с другими языками программирования (например, Python, который применяется для запуска веб-сервиса и геоприложения), кроссплатформенность, значительный набор инструментов статистического анализа и машинного обучения [40].

* * *

Обоснованное внедрение точного земледелия невозможно без количественной оценки степени варьирования внутриполевой неоднородности, которая определяет целесообразность и эффективность использования дифференцированного подхода к возделыванию сельскохозяйственных культур на заданной территории. Рассмотренные в статье возможности позволяют решать данную задачу исходя из оптических характеристик, что обеспечивает выбор планируемой агротехнологии различной интенсивности. Чем выше вариативность внутриполевой неоднородности, тем менее эффективны традиционные агротехнологии, то есть те агроприёмы, которые предусматривают одинаковый уровень технологического воздействия на почву и посев. Традиционные агроприёмы эффективны только тогда, когда поле однородно, что встречается крайне редко. Отличительные особенности агроприёмов ТЗ – адресная оценка каждого участка на сельскохозяйственном поле, соответствующий расчёт и дифференцированное внесение дорогостоящих средств по уходу за посевами, определяющих судьбу урожая. Чем выше неоднородность посева или почвенного плодородия, тем эффективнее применение ТЗ. Поэтому обоснованный выбор производителем растениеводческой продукции планируемой агротехнологии для каждого поля обеспечит снижение технологических рисков в

современном земледелии. Без практического решения данной проблемы отечественное сельское хозяйство будет развиваться лишь по догоняющей модели.

В дальнейшем практическое решение указанной проблемы предлагается осуществить путём разработки новой автоматизированной системы дистанционного мониторинга на основе созданного в АФИ функционала с включением его в информационный центр ИКИ РАН, который уже поддерживает более 20 специализированных систем. Они предназначены для изучения различных явлений и процессов, а также решения конкретных задач в научных или прикладных целях. Создание новой системы дистанционного мониторинга и её включение в информационную систему ИКИ РАН, безусловно, будет способствовать более широкому внедрению полученных результатов в реальный сектор производства растениеводческой продукции и сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. FAO. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.
2. Wheeler T., von Braun J. Climate change impacts on global food security // *Science*. 2013. V. 341. P. 508–513.
3. Hendricks G.S., Shukla S., Roka F.M. et al. Economic and environmental consequences of overfertilization under extreme weather conditions // *J. Soil Water Conserv.* 2019. V. 74. P. 160–171.
4. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации до 2030 года. М., 2020.
5. Указ Президента РФ от 01.12.2016 г. № 642 “О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации”. <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102416645>.
6. Концепция технологического развития на период до 2030 года (Распоряжение Правительства РФ от 20 мая 2023 г. № 1315-п).
7. Chamara N., Islam M.D., Bai G.F. et al. Ag-IoT for crop and environment monitoring: Past, present, and future // *Agric. Syst.* 2022. V. 203. 103497.
8. Singh P.K., Sharma A. An intelligent WSN-UAV-based IoT framework for precision agriculture application // *Comput. Electr. Eng.* 2022. V. 100. 107912.
9. Pathmudi V.R., Khatri N., Kumar S. et al. A systematic review of IoT technologies and their constituents for smart and sustainable agriculture applications // *Scientific African*. 2023. V. 19. e01577.
10. Mulla D.J. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps // *Biosystems Engineering*. 2013. № 4. P. 358–371.
11. Galioto F., Raggi M., Viaggi D. Assessing the potential economic viability of precision irrigation: a theoretical analysis and pilot empirical evaluation // *Water*. 2017. № 12. P. 990–1009.

12. Якушев В.П., Якушев В.В. Перспективы “умного сельского хозяйства” в России // Вестник РАН. 2018. № 9. С. 773–784; Yakushev V.P., Yakushev V.V. Prospects for “Smart Agriculture” in Russia // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2018. № 5. P. 330–340.
13. Ananev I.P., Zubets V.S., Belov A.V., Blokhin Yu.I. Mobile system for on-the-go measuring and mapping soil permittivity, electrical conductivity, moisture content, temperature and mechanical resistance // Proc. 3rd Global Workshop on Proximal Soil Sensing. 26–29 May 2013. P. 201–209.
14. Блохин Ю.И., Якушев В.В., Блохина С.Ю. и др. Современные решения для формирования опорной информации с целью повышения точности определения агрофизических свойств почвы по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 4. С. 164–178.
15. Якушев В.П., Якушев В.В., Блохина С.Ю. и др. Информационное обеспечение современных систем земледелия в России // Вестник РАН. 2021. № 8. С. 755–768.
16. Блохина С.Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5. С. 10–16.
17. Angelopoulou T., Tziolas N., Balafoutis A. et al. Remote sensing techniques for soil organic carbon estimation: A review // Remote Sens. 2019. № 6. 676.
18. Viscarra Rossel R.A., Walvoort D.J.J., McBratney A.B. et al. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties // Geoderma. 2006. V. 131. P. 59–75.
19. Bauer M.E., Cipra J.E. Identification of agricultural crops by computer processing of ERTS MSS data // LARS Technical Reports. 1973. Paper 20. <http://docs.lib.purdue.edu/larstech/20>
20. Doraiswamy P.C., Moulin S., Cook P.W., Stern A. Crop yield assessment from remote sensing // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 2003. V. 69. P. 665–674.
21. Christy C.D. Real-time measurement of soil attributes using on-the-go near infrared reflectance spectroscopy // Computers and Electronics in Agriculture. 2008. V. 61. P. 10–19.
22. Link A., Panitzki M., Reusch S. Hydro N-sensor: Tractor-mounted remote sensing for variable nitrogen fertilization // Proc. 6th Int. conf. on precision agric. 2002. P. 1012–1018.
23. Chlingaryan A., Sukkarieh S., Whelan B. Machine learning approaches for crop yield prediction and nitrogen status estimation in precision agriculture: A review // Comput. Electron. Agric. 2018. V. 151. P. 61–69.
24. Weiss M., Jacob F., Duveillerc G. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review // Remote Sens. Environ. 2020. V. 236. 111402.
25. Sishodia R.P., Ray R.L., Singh S.K. Applications of remote sensing in precision agriculture: a review // Remote Sens. 2020. № 19. 3136.
26. Maes W.H., Steppe K. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture // Trends Plant Sci. 2019. V. 24. P. 152–154.
27. Jung J., Maeda M., Chang A. et al. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems // Current Opinion in Biotechnology. 2021. V. 70. P. 15–22.
28. Sinde-Gonzalez I., Gil-Docampo M., Arza-Garcia M. et al. Biomass estimation of pasture plots with multi-temporal UAV-based photogrammetric surveys // International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation. 2021. V. 101. 102355.
29. Zheng H., Zhou X., He J. et al. Early season detection of rice plants using RGB, NIR-G-B and multispectral images from unmanned aerial vehicle (UAV) // Computers and Electronics in Agriculture. 2020. V. 169. 105223.
30. Ye H., Huang W., Huang S. et al. Recognition of banana fusarium wilt based on UAV remote sensing // Remote Sensing. 2020. № 6. 938.
31. Zhang J., Huang Y., Pu R. et al. Monitoring plant diseases and pests through remote sensing technology: A review // Comput. Electron. Agric. 2019. V. 165. 104943.
32. Лысов А.К., Павлюшин В.А. Фитосанитарное проектирование агроэкосистем и дистанционное зондирование // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. № 5. С. 101–109.
33. Шпанев А.М., Смур В.В. Изменение спектральных характеристик культурных и сорных растений под влиянием минеральных удобрений в агроценозах Северо-Запада России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. № 3. С. 165–177.
34. Kumar A., Taparia M., Rajalakshmi P. et al. UAV based remote sensing for tassel detection and growth stage estimation of maize crop using multispectral images // IGARSS 2020–2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 2020. P. 1588–1591.
35. Lu B., Dao P.D., Liu J. et al. Recent advances of hyperspectral imaging technology and applications in agriculture // Remote Sens. 2020. V. 12. 2659.
36. Денисов П.В., Середа И.И., Трошко К.А. и др. Возможности и опыт оперативного дистанционного мониторинга состояния озимых культур на территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. № 2. С. 171–185.
37. Якушев В.П., Дубенок Н.Н., Лупян Е.А. Опыт применения и перспективы развития технологий дистанционного зондирования Земли для сельского хозяйства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. № 3. С. 11–23.
38. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А. и др. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные пробле-

- мы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. № 5. С. 247–267.
39. Якушев В.П., Якушев В.В., Блохина С.Ю. и др. Перспективы выявления идентификационных показателей состояния посевов по аэрокосмическим снимкам и специализированным полевым исследованиям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. № 4. С. 113–127.
40. Якушев В.П., Петрушин А.Ф., Якушев В.В. и др. Автоматизация процесса обнаружения и выделения границ внутрислоевого изменчивости по аэрокосмическим снимкам и оптическим критериям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. № 6. С. 151–162.
41. Якушев В.П., Блохин Ю.И., Блохина С.Ю. и др. Теоретические основы дистанционной и наземной количественной оценки внутрислоевого изменчивости для точного земледелия. СПб.: АФИ, 2023.
42. Якушев В.П., Жуковский Е.Е., Петрушин А.Ф., Якушев В.В. Вариограммный анализ пространственной неоднородности сельскохозяйственных полей для целей точного земледелия (методическое пособие). СПб.: АФИ, 2010.
43. Якушев В.П., Канаеш Е.В., Русаков Д.В. и др. Корреляционные зависимости между вегетационными индексами, урожаем зерна и оптическими характеристиками листьев пшеницы при разном содержании в почве азота и густоте посева // Сельскохозяйственная биология. 2022. № 1. С. 98–112.
44. Якушев В.П., Канаеш Е.В., Якушев В.В. и др. Новые возможности автоматизации процесса обнаружения внутрислоевого неоднородности по гиперспектральным снимкам и оптическим критериям // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. № 3. С. 24–32.
45. Якушев В.П., Буре В.М., Митрофанова О.А. и др. Особенности обработки аэрокосмических снимков для оптимизации геостатистических исследований внутрислоевого изменчивости в задачах точного земледелия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. № 4. С. 128–139.

THE ROLE OF REMOTE SENSING OF THE EARTH IN PRECISION AGRICULTURE

V. P. Yakushev^{1,#}, V. V. Yakushev^{1,##}, and S. Yu. Blokhina^{1,###}, Yu. I. Blokhin^{1,####}, D. A. Matveenko^{1,#####}

¹*Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia*

[#]*E-mail: vyakushev@agrophys.ru*

^{##}*E-mail: mail@agrophys.com*

^{###}*E-mail: sblokhina@agrophys.ru*

^{####}*E-mail: blohin3k4@gmail.com*

^{#####}*E-mail: dmatveenko@inbox.ru*

The paper provides a historical assessment of the increasing role of remote sensing data, the methods, services and tools used in their acquisition and applied in the information support of precision agriculture technologies. The main problems constraining the scalability of aerospace imagery application in precision crop production have been considered. The necessity to create a new research methodology, the formation of an appropriate physical, technical and experimental infrastructure to overcome them has been emphasized. The application of methodology for planning and conducting specialized experiments in conjunction with remote and ground-based monitoring of field experiments with test plots for detection within-field heterogeneity and the degree of its intensity has been depicted. For this purpose, has been created the functional that implements the capabilities of two new methods for within-field variability delineation and border marking based on aerospace images. The first one based on the main geostatistical tool – variogram analysis, and the other one is based on the systematic quantitative assessment of the dynamics of changes in the integral optical characteristics of the crop.

Keywords: precision agriculture, remote sensing, precision field experiments, test plots, research infrastructure, variogram analysis, vegetation optical indices, algorithms and software.

ГЛОБАЛИЗАЦИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАТО: НЕРЕАЛИЗОВАВШИЕСЯ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СЦЕНАРИИ

© 2023 г. Ф. О. Трунов^{а,*}

^аИнститут научной информации по общественным наукам РАН, Москва, Россия

*E-mail: Itrunov@mail.ru

Поступила в редакцию 01.06.2023 г.

После доработки 12.07.2023 г.

Принята к публикации 21.07.2023 г.

В 2014–2023 гг. НАТО вновь сосредоточилась на сдерживании влиятельных незападных оппонентов (РФ, КНР). Тем самым альянс вернулся к логике функционирования прошлой холодной войны. Вместе с тем усилилось стремление к глобализации деятельности блока – процесса, активизировавшегося уже с начала XXI в., но в новой географической конфигурации и формах. В статье предпринята попытка анализа этого процесса с опорой на положения теории альянсов и строительства вооружённых сил. Прослеживаются ход (с 2000-х годов) и причины неудачных попыток НАТО утвердиться в положении провайдера безопасности в конфликтогенных государствах Среднего и Ближнего Востока. Выбор новых векторов деятельности в отдалении от зоны ответственности альянса диктовался стремлением усилить эффективность сдерживания РФ и КНР, подчеркнуть дееспособность блока в условиях формирования нового миропорядка. Одним из направлений активности НАТО становится Арктика (с опорой на Норвегию), другим – Индо-Тихоокеанский регион (с углублением сотрудничества альянса прежде всего с Японией и Австралией). Рассматриваются уже предпринятые по линии блока политические и военные шаги, перспективы его деятельности.

Ключевые слова: Запад, Североатлантический альянс, США, европейские государства – члены НАТО, глобальное присутствие, Средний и Ближний Восток, конфронтация, сдерживание, Арктика, Норвегия, Индо-Тихоокеанский регион.

DOI: 10.31857/S0869587323100109, **EDN:** INIKHM

В последние два десятилетия блок НАТО оставался ключевым носителем многосторонней военной мощи коллективного Запада. Во внешнеполитическом планировании и деятельности Запада на протяжении 2013–2023 гг. роль альянса заметно возросла [1]. Это закономерно сопровождалось набравшим скорость масштабным наращиванием военного потенциала, находив-

шегося (или зарезервированного под использование) в распоряжении НАТО [2]. Предпринимаемые меры нацелены главным образом на усиление системы сдерживания России. Тем самым Североатлантический блок, как механизм выстраивания конфронтации Запада с его оппонентами, вновь вернулся к решению традиционной для себя основной задачи, но уже в качественно иных геополитических реалиях. Однако это отнюдь не означает, что альянс в обозримой перспективе готов ограничить свою заметно возросшую по масштабу военно-стратегическую активность лишь зоной ответственности¹. Такой сценарий едва ли возможен уже хотя бы потому, что либеральные демократии весьма чувствительны к формированию не-Запада как общности [3, с. 23, 24]. Прямое или опосредованное противодействие этому в различных регионах мира уже



ТРУНОВ Филипп Олегович – кандидат политических наук, ведущий научный сотрудник отдела Европы и Америки ИНИОН РАН.

¹ Под зоной ответственности понимается совокупность территорий и территориальных вод государств – членов Североатлантического альянса.

неоднократно осуществлялось или как минимум декларировалось с использованием механизма блока. После окончания предыдущей холодной войны альянс в целом последовательно стремился расширить зону своей компетенции — как географически, так и функционально, тем самым пытаясь выступить в роли гаранта безопасности и стабильности. Так, с 1990-х годов НАТО позиционировала себя в такой роли в ходе формирования постъюгославского пространства, с начала XXI в. — в зонах вооружённых конфликтов на Среднем (в Афганистане) и Ближнем Востоке (в Ираке и Сирии).

Возникновение двух новых зон конфронтации — между Евро-Атлантическим сообществом и Россией, а также между США с растущей группой их партнёров и КНР — не привело к приостановке глобализации деятельности НАТО, однако заметно повлияло на видоизменение этого процесса. Функционально он стал развиваться во многом вширь: к числу сфер ответственности блока были отнесены кибер-, информационное и космическое пространства, вопросы экологии и энергетики, что было зафиксировано на Брюссельском саммите НАТО 2021 г. [4, с. 21–27]. Неблагоприятные для сохранения присутствия альянса изменения обстановки в Афганистане [5], Сирии [6, с. 153–162], Ираке в начале 2020-х годов поставили вопрос об эффективности усилий НАТО в области урегулирования вооружённых конфликтов и поиске географически новых направлений обеспечения глобальной субъектности.

Задача данной статьи, подготовленной с использованием положений теорий альянсов [7] и строительства вооружённых сил [8], — выявить возникающие в реалиях начала 2020-х годов географические направления активности альянса вне зоны ответственности и дать оценку итогам предшествующей деятельности в этой сфере. Зарубежным и отечественным исследователям принадлежит большой корпус работ по вопросам участия НАТО в борьбе с угрозами нестабильности в конфликтных зонах Ближнего и Среднего Востока, прежде всего в Афганистане [9, 10]. Растущее, но пока ещё ограниченное внимание уделяется стратегиям деятельности альянса в средах и сферах, до конца 2010-х годов не относившихся к его компетенции (киберпространство [11] и космос, экология и энергетика [4]). В исследуемом — географическом — ракурсе новые направления изучались в основном применительно к деятельности конкретных государств — членов НАТО, но отнюдь не самого блока как структуры [см., например, 12]. Причём часто эти страны действовали без привлечения альянса или с сугубо точечным подключением организации [13, 14].

ПУТЬ ГЛОБАЛИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАТО В 2000–2010-Х ГОДАХ

В годы предшествующей конфронтации Запада и Востока возможности НАТО как блока практически не использовались вне зоны его ответственности в Европе. Как структура он не был вовлечён в военные конфликты с участием Франции (1946–1954), а затем США (1964–1973) в Индокитае, официального Парижа в Алжире (1954–1962), Лондона — за Фолклендские острова (1982), в проведение операции “Буря в пустыне” (1991). Это объяснялось консенсусом государств — членов НАТО в важнейшем для блока вопросе: необходимости предельной сфокусированности на сдерживании СССР и его государств-союзников по Организации Варшавского договора, особенно в Центральной Европе.

В ходе переговоров по решению германского вопроса (1990), ставших важной составляющей окончания конфронтации, президент США Дж. Буш-старший сформулировал тезис о восприятии НАТО как “якоря стабильности” [15, с. 472, 473], необходимости вовлечения альянса в борьбу с угрозами нестабильности, понимаемыми в географически широком контексте. На практике значимые шаги по выходу альянса за пределы зоны ответственности стали осуществляться после 1994 г. — времени завершения вывода Западной группы советских (российских) войск. Это событие воспринималось многими игроками Евро-Атлантического сообщества в качестве фактического завершения холодной войны [16, с. 596–602]. В середине и второй половине 1990-х годов механизм НАТО весьма активно использовался при формировании постъюгославского пространства. Дважды (в 1995 г. в Боснии и в 1999 г. в “малой” Югославии в связи с ситуацией в крае Косово) под эгидой альянса проводились военно-воздушные, то есть боевые (силовые) операции. По их завершении развёртывались крупные наземные миссии по миротворчеству и поддержанию мира (в Боснии в 2004 г. эта миссия перешла к силам ЕС); подобные миссии действовали и в Македонии в 2001–2003 гг. [17, р. 54, 63–73]. Опыт, накопленный на Балканах, был весьма положительно истолкован странами — участницами блока для перехода к полноценной глобализации его деятельности.

Не только причиной, но весьма удобным (хронологически и функционально) поводом стали акты мегатеррора 11 сентября 2001 г. Европейские государства — члены альянса продемонстрировали готовность к активации ст. 5 Вашингтонского договора (1949) для борьбы с международным терроризмом [17, р. 76]. Однако сами США изначально предпочли формат “коалиции желающих” как основы первой западной антитеррористической коалиции. Прежде всего речь шла о

проведении операции Enduring Freedom (“Несокрушимая свобода”). Здесь проявилась не столько традиция (неучастие НАТО в масштабных военных операциях с ведущим участием США вне Европы), сколько желание администрации Дж. Буша-младшего продемонстрировать способность создавать под свои интересы глобально оперирующие форматы. Задача по наделению НАТО глобальной субъектностью лишь несколько затенялась, но оставалась важной для европейских стран-участниц и самих США. Так, с момента запуска деятельности ISAF (Международные силы содействия безопасности) в Афганистане альянс подключился к их работе, а в августе 2003 г. официально принял на себя от ООН общее командование этими силами [18, S. 2, 3]. Среди прочего это решение было обусловлено стремлением стран – участниц НАТО преодолеть кризис доверия внутри альянса: в феврале–марте 2003 г. группа государств-членов во главе с Германией и Францией обозначила готовность заблокировать механизм альянса при проведении США и Великобританией военно-силовой операции против Ирака [19, с. 139]. Поэтому для её осуществления Белый дом уже вынужденно вновь обратился к формату “коалиции желающих”.

Кризис доверия продемонстрировал границы глобализации деятельности блока в военно-силовом отношении. Европейские государства-члены были готовы поддерживать проведение боевых операций под эгидой альянса в отдалении от его зоны ответственности лишь выборочно. В дальнейшем это подтвердили акции в Ливии в 2011 г. (в боевой операции не приняла участие ФРГ, ограниченное участие – сами США) и в Сирии в 2013 г. (кризис был урегулирован дипломатически, использование в нём сил под эгидой НАТО считалось маловероятным [20]). Достаточно быстрое проведение боевых операций 2003 г. в Ираке (с полноценной наземной составляющей) и 2011 г. в Ливии (военно-воздушная) привели к обрушению в обеих странах института центральной власти. Тем самым вместо повышения уровня стабильности был достигнут прямо противоположный эффект с неизбежным фактическим возложением части ответственности за это на саму НАТО, особенно в случае Ливии.

Заметные трудности с позиционированием блока как провайдера безопасности и стабильности возникали и в его деятельности по поддержанию мира, а также антитеррористической борьбе. В этом смысле ключевой страной на протяжении двух десятилетий (2001–2021) был Афганистан: на его территории с самым активным участием НАТО предпринимались масштабные и разноплановые попытки строительства национального государства [10, с. 216–220]. На пике (в начале 2010-х годов) здесь оказались задействованы контингенты, эквивалентные усиленной полевой ар-

мии, причём заметный вклад вносили не только США: численность контингента ФРГ составляла до 5 тыс. военнослужащих (по размеру это равно бригаде), а финансирование – свыше 1 млрд евро ежегодно [21, S. 3, 4]. В большинстве соответствующих административных единиц Афганистана были созданы провинциальные восстановительные команды (команды реконструкции провинций), ответственные за содействие воссозданию органов власти на местном уровне. В увязке с этим велась работа по реформе судебной системы, сектора безопасности, то есть формированию национальных вооружённых сил и полиции [10, с. 218–220; 17, p. 80–82].

От комбинированного использования войсковых контингентов с группами инструкторов и подразделениями спецназа в период деятельности ISAF (до 2014 г.) НАТО перешла к осуществлению лишь военно-тренировочной деятельности и применению сил специальных операций в ходе операции Resolute Support (“Решительная поддержка”) [22]. Смена миссий осуществлялась по заранее согласованному плану, но без должного учёта реалий ситуации в Афганистане. К середине 2010-х годов движение “Талибан”^{*2} не только не было разгромлено (гипотетическая возможность этого в самом начале 2000-х годов была упущена), но, напротив, восстановило потенциал и перешло к активным контр наступательным действиям, постепенно осуществляемым уже на всю глубину территории страны. Правительственные войска и полиция без прямой поддержки со стороны личного состава миссии НАТО (а также частично действовавшей в национальном качестве группировки США) не были способны успешно противостоять натиску “Талибана”^{*}. Операция “Решительная поддержка” оказалась не способна переломить тенденцию.

На практике деградация ситуации воспринималась участниками альянса по-разному: так, Франция изначально воздержалась от участия в операции, Германия, принявшая в ней участие, постепенно наращивала усилия, а США от роста вклада в миссию перешли в середине президентства Д. Трампа к переговорам с “Талибаном”^{*}. Показательно, что они не только велись (с выходом на сделку 29 февраля 2020 г., предусматривавшую вывод войск в течение 14 месяцев), но и в основе своей осуществлялись США (уже при Дж. Байдене) в национальном качестве [5], то есть без предварительного согласования с большинством партнёров по НАТО и без встроенного участия альянса как структуры. Это объяснялось возражениями ряда европейских государств-членов (в частности, Германии и Италии) с демонстрацией их фактической зависимости от США в

² Здесь и далее символом * обозначены запрещённые в РФ организации.

собственно военном отношении – невозможности обеспечить своё присутствие в Афганистане без сохранения поддержки вооружённых сил Соединённых Штатов. Результатом стала вынужденная самоликвидация крупнейшей миссии НАТО по миротворчеству и поддержанию мира вне зоны ответственности (де-юре осуществлена к 1 сентября [22], де-факто к 1 июля 2021 г.) [5]).

В отличие от первой западной антитеррористической коалиции к деятельности второй (создана в сентябре 2014 г. по инициативе США для борьбы с “Исламским государством” (ИГ)* – на сирийско-иракском направлении – механизм НАТО был подключён достаточно длительное время спустя – де-юре с июля 2016 г., де-факто в 2017–2018 гг. В частичное подчинение НАТО оказались переданы прежде всего группы военных инструкторов, отвечавшие за обучение и переподготовку как бойцов пешмерга (курдские вооружённые формирования), так и войск центрального правительства Ирака на севере страны [23, S. 6, 7]. Иными словами, здесь блок решал задачи, схожие с теми, которые ставились в ходе “Решительной поддержки”, однако масштаб деятельности, географическая широта и, что не менее важно, степень институциональной завязанности на сам альянс в Ираке были существенно ниже. Не в пример Сирии, где ключевую роль в борьбе с международным терроризмом играл триумvirат западных игроков (Российская Федерация – правительство Сирийской Арабской Республики – Исламская Республика Иран), в Ираке именно страны – участницы НАТО вносили определяющий вклад в такого рода деятельность. Однако успехи здесь, в отличие от сирийского направления [6, с. 145–147], оказались намного скромнее: в конце 2010-х – начале 2020-х годов наблюдалось частичное восстановление потенциала и активности ИГ*, которое по мере утраты постоянного контроля над территориями вновь сосредоточилось на терактах и использовании повстанческих тактик. Это вело к заметному сужению окна возможностей для использования на иракском направлении НАТО и сохранения его долгосрочного присутствия в регионе.

РАМОЧНЫЕ КОНТУРЫ НОВЫХ СЦЕНАРИЕВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АЛЬЯНСА ВНЕ ЗОНЫ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Поиск новых направлений глобализации деятельности НАТО осуществлялся главным образом с учётом двух основных факторов: неудачного опыта исполнения роли провайдера стабильности на Среднем и Ближнем Востоке и выстраивания конфронтации с растущим числом западных держав. В соответствии с доктринальными установками блока, РФ вошла в список оппонен-

тов с 2014 г., КНР – с 2021 г. [24], включена в эту категорию и Исламская Республика Иран [1, р. 3–5]. Согласно принятой 28–30 июня 2022 г. стратегической концепции НАТО, совершенствование систем сдерживания России и Китая обозначались как приоритеты № 1 и 3 соответственно, между которыми расположилась задача по противодействию угрозам нестабильности, исходящей из конфликтных стран Востока и Африки [1, р. 3–5]. На практике Запад, особенно с середины 2010-х годов, на последнем направлении действовал с растущей вовлечённостью не столько Североатлантического альянса, сколько Европейского союза [26, с. 22–27].

Ещё до начала вынужденной специальной военной операции (СВО) РФ, а тем более на её фоне страны – участницы НАТО оказывали возрастающую по объёму и ударной мощи поставляемых вооружений и военной техники поддержку официальному Киеву. Вместе с тем, как минимум де-юре, обращение непосредственно к механизму Североатлантического альянса носило относительно ограниченный характер: согласование поставок наиболее значимых видов наземных (прежде всего танков) и воздушных вооружений (истребителей) осуществлялось прежде всего в рамках формата “Рамштайн” [26, р. 8, 35–37] (назван в честь одноимённой крупнейшей военной базы США в ФРГ). На практике ключевые решения прорабатывались и согласовывались с самым активным участием аппарата альянса [26, р. 4]. Обращение к неофициальным форматам вне его объяснялось стремлением стран-участниц снизить риск инициирования прямого, то есть горячего конфликта с РФ при вовлечённости блока.

Указанная активность в подконтрольных официально Киеву районах Украины сочетается с совершенствованием сдерживания РФ внутри зоны ответственности НАТО. Здесь очень большая нагрузка не только де-факто, но и де-юре ложится на сам альянс: в 2014–2016 гг. были увеличены находившиеся в его подчинении силы быстрого реагирования [27], в 2017 г. созданы и затем также существенно увеличены, особенно с 2022 г., силы передового развёртывания [28]. Согласно решениям Мадридского саммита НАТО, прошедшего 28–30 июня 2022 г., в распоряжение блока были переданы или зарезервированы под использование 800 тыс. военнослужащих из состава вооружённых сил государств-членов, в том числе 300 тыс. – со сроком развёртывания в пределах одного месяца. Приверженность этой формуле, причём с подчёркиванием успехов её реализации на практике, была подтверждена на Вильнюсском саммите НАТО 11–12 июля 2023 г. [29]. Столь огромные силы и средства потенциально

позволяют блоку не только наращивать систему сдерживания РФ, но вернуться к оперированию на глобальном уровне [2].

Вместе с тем существовал ряд “узких мест”. Ключевое из них – резкое опережение по скорости увеличения группировок НАТО по сравнению с наращиванием национальных вооружённых сил как таковых [30, р. 12; 2, 27, 28]. Иными словами, многие обязательства, начиная с комплектования войсковых механизмов в Восточной Европе, принимались государствами-членами в реальности “на вырост”, в кратко- и отчасти среднесрочной перспективе ограничивая возможности по использованию вооружённых сил, в том числе под эгидой НАТО, на других направлениях. В наибольшей мере это положение относилось к сухопутным войскам [27, 28], в меньшей – ВВС и особенно ВМС. Соответственно, именно два последних вида войск прежде всего могли быть использованы на новых направлениях глобальной деятельности НАТО. Одновременно выбор её географических векторов должен был отвечать логике главной для блока задачи – усилению (ужесточению) системы сдерживания РФ и КНР. Притом для достижения быстрее и большего результата желательной была опора на расположенные в соответствующих регионах страны – участницы НАТО или государства из числа либеральных демократий, не входивших в альянс. Всем указанным критериям в наиболее полной мере отвечали два направления – арктическое и дальневосточное.

АРКТИКА КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАТО

В период предшествующей холодной войны фокус внимания НАТО был существенно сильнее обращён на центральное направление (в данном случае – ФРГ и сдерживание присутствия СССР в ГДР). Так, в Норвегии не было постоянного союзнического присутствия [31, р. 5–14], а группа армий альянса “Север” отвечала не за скандинавское направление, а за прикрытие северной части ФРГ. Силы стран – участниц НАТО (в частности, группы кораблей 6-го оперативного флота США) появлялись в Норвежском и Гренландском морях на временной основе – обычно на время учений. По сути, отсутствовала единая стратегия стран – участниц блока в отношении Арктики. Такое положение, причём даже со снижением имевшейся активности, оставалось неизменным вплоть до середины 2010-х годов.

С 2017 г. США развернули подразделения морской пехоты (330 военных) в самой северной губернии Норвегии Финнмарк, в 2018 г. удвоив состав до 700 человек [32]. Их несколько выпадавший из логики вывод в 2020 г., объяснявшийся во

многом стилем внешней политики Д. Трампа³, уже в 2021–2022 гг. сменился соглашением о доступе вооружённых сил США на ряд норвежских военных баз, в том числе две (ВМС и ВВС) в Финнмарке [33]. В 2018 г. в Центральной Норвегии были проведены самые крупные за десятилетие 2014–2023 гг. учения НАТО Trident Juncture 18 – с задействованием 50 тыс. военнослужащих [34]. В 2022 г. в Северной Норвегии (Тромсё-ог-Финнмарк) проводились манёвры Cold Response 22 (“Холодный ответ 22”) с привлечением 30 тыс. военнослужащих [35]. Как следует из данных сайта НАТО, скандинавское, точнее норвежское, направление являлось ключевым в деле проведения крупнейших (свыше 15 тыс. военнослужащих, эквивалент дивизии) учений последнего десятилетия: из 6 одинарных и спаренных⁴ здесь были проведены 3. К этому следует добавить манёвры шведских войск Augoga 17 и Augoga 23, проводившиеся в национальном качестве, но с растущей вовлечённостью стран – участниц НАТО и тем самым демонстрацией готовности вступить в альянс [36], что было де-юре закреплено в 2022 г.

О чём свидетельствовала эта тенденция? США и европейские государства – члены НАТО обратили повышенное внимание на северный фланг передовой части зоны ответственности сразу после того, как был запущен процесс усиления сил быстрого реагирования альянса (второй стратегический эшелон) и стали создаваться силы передового развёртывания в северном субрегионе Восточной Европы (первый эшелон) – в странах Балтии и Польше [28]. В Норвегии появления многонациональной боевой группы (и тем более групп) сил передового развёртывания не последовало по той причине, что официальный Осло не стал обозначать такой просьбы на уровне НАТО, как и в годы предшествующей холодной войны. Вместо этого сами США инициировали развёртывание собственных сил в Северной Норвегии [32, 33] – на сопредельной с РФ территории, одновременно обращённой в сторону морей Северного Ледовитого океана, тем самым усиливая систему сдерживания России и одновременно перенимая опыт официального Осло в деле развития арктических войск.

Протяжённость сухопутной⁵ границы Норвегии с Россией (195,7 км) существенно меньше,

³ Речь идёт о гиперболизированном с точки зрения форм стремлении 45-го президента США подчеркнуть отсутствие какой-либо зависимости от партнёров по НАТО и, напротив, их зависимость от США. К числу причин свёртывания присутствия в Норвегии следует отнести уровень её военных расходов (ниже 2% ВВП) [29, р. 8] и заметную активизацию диалога с ФРГ – основным объектом критики со стороны 45-го президента США внутри Евро-Атлантического сообщества.

⁴ Двое (реже более) учений, проводимых как единое целое.

⁵ С учётом границы по озёрам и рекам, но без морских рубежей.

чем у Польши и стран Балтии вместе взятых (1065.6 км). К тому же надо иметь в виду, что природно-климатические условия на Крайнем Севере и в Восточной Европе резко различаются по своей суровости. Иными словами, гипотетическая “российская угроза” для Норвегии должна была восприниматься намного менее остро, чем для стран Балтии. Подтверждение тому – отсутствие запроса официального Осло на размещение у себя сил передового развёртывания блока. В этой связи объяснением парадокса – избрания Норвегии центром проведения крупнейших учений НАТО – служит её восприятие в качестве плацдарма для стратегического проникновения блока как структуры в Северный Ледовитый океан.

Чем обусловлен выбор Норвегии для решения таких задач? Она весьма удобный партнёр не только для европейских стран (Великобритании, Германии), но и США. Белый дом в принципе не был готов допустить использования Аляски – своей территории – в качестве такого плацдарма. Значимым стал и фактор относительной слабости арктических войск США, что диссонирует с мощью их военной машины в целом. Стратегическому закреплению Соединённых Штатов в Северном Ледовитом океане (не в пример остальной повестке, в особенности сдерживанию России) мешали серьёзные раздражители, препятствовавшие сотрудничеству с Канадой (из-за вопроса об интернационализации её Северо-Западного прохода) и Данией (после открытой постановки США вопроса о приобретении принадлежавшего ей о. Гренландия в августе 2019 г. [37] – в данном случае Д. Трамп стал выразителем интересов весьма широкой части истеблишмента). Отсутствие подобных “узких мест” в отношениях с Норвегией делало её желанным стратегическим союзником США, что показали их просьбы о войсковом присутствии на севере страны (2017–2020) [32], а затем о соглашении о совместном использовании баз здесь же (2021 г.; ратифицировано в 2022 г.) [33].

При этом действия США в сугубо национальном качестве сочетались с масштабной стратегической активностью НАТО в регионе, предполагающей вклад европейских стран – участниц альянса. Включение в состав блока Финляндии (де-юре состоялось 4 апреля 2023 г., в очередную годовщину подписания Вашингтонского договора 1949 г.) привело к резкому расширению границ зоны ответственности НАТО (что вынуждает Россию выделять дополнительные силы и средства на оборону) и тем самым нацелено на замедление темпов военно-стратегического усиления Северного флота РФ [38]. Де-факто потерявшие свой условно нейтральный статус Швеция и Финляндия должны обеспечить прикрытие Норвегии как основного плацдарма для стратегического проникновения в Арктику, играя в этом

процессе скорее вспомогательную роль. В нём прослеживаются три основные составляющие.

1. Создание мощного отрезка системы сдерживания РФ в губернии Финнмарк (отработка в ходе учений Cold Response 22 [35], Joint Viking 23 [39]) с весьма вероятным интегрированием в него северных районов Швеции и особенно Финляндии (иллюстрация тому – становящиеся ежегодными учения Arctic Challenge [40]).

2. Выстраивание системы прикрытия протяжённого побережья (прежде всего на отрезке Тронхейм–Тромсё) с портами и аэродромами как трамплина для стратегического проникновения альянса в Северный Ледовитый океан. Отработка занятия сухопутной прибрежной зоны с выдвиганием из глубины крупных общевойсковых резервов в виде сил быстрого реагирования НАТО осуществлена в ходе учений Trident Juncture 18 [34].

3. Оперирование в акваториях Норвежского и Гренландского морей. Условные границы использования группировок ВМС, прежде всего постоянных морских групп НАТО, поддерживаемых ВВС, постепенно смещаются на север и северо-восток, с перспективой распространения в дальнейшем на Баренцево море и центральные просторы Северного Ледовитого океана. Примерами этого служили военно-морская и отчасти военно-воздушная составляющая учений Trident Juncture 18 [34], а также манёвры ВМС Joint Warrior 23 (последние проводились уже под руководством Великобритании в качестве единого целого с Joint Viking 23 [41]).

Ключевую роль в стратегическом проникновении НАТО в Северный Ледовитый океан будут играть не корветы и минные тральщики, которыми комплектуются данные группы, а фрегаты – основной класс океанских кораблей XXI в., а также более крупные корабли, в том числе авианосцы 6-го оперативного флота США [42, р. 30]. Кроме того, востребованным окажется использование и подводных лодок, в том числе дизельных. Для всех групп кораблей важной будет поддержка авиации, морской пехоты (как на кораблях, так и развёрнутой в Финнмарке, в перспективе и на Шпицбергене) и подразделений сил специальных операций. Помимо США и самой Норвегии, заметную роль во всех этих процессах будут играть Германия и Великобритания. В Арктике не только в настоящем, но и будущем следует ожидать активного использования сил НАТО, что позволяет аккумулировать ресурсы США и европейских партнёров, чётко показать их совместную готовность.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛА НАТО НА ДАЛЬНОМ ВОСТОКЕ

Как уже было сказано, во второй половине XX в. политика США в Европе была нацелена на многостороннее сотрудничество под эгидой НАТО. На Дальнем Востоке предпочтение отдавалось либо двусторонним обязательствам, прежде всего в отношениях с Японией и Южной Кореей, либо союзам с ограниченным числом государств-членов, в основном с участием англосаксонских стран. Это положение сохранялось не только в 1990-е – начале 2010-х годов, но и по мере выстраивания системы сдерживания КНР на Дальнем Востоке с середины 2010-х годов. На данном направлении, не в пример Арктике, более сложным оказалось полноценное вовлечение в конфронтацию европейских либеральных демократий, без чего в принципе не мог быть поднят вопрос об использовании в противостоянии сил НАТО. Трудность заключалась не только и, главное, не столько в географической удалённости: обращение за помощью продемонстрировало бы уязвимость США, их зависимость от европейских партнёров, то есть могла быть поставлена под сомнение их роль как ведущего игрока на мировой арене.

Европейские государства – члены НАТО в военном отношении были нацелены на сдерживание России. Большинство континентальных стран-участниц, за исключением Франции, не располагали сколько-нибудь существенными стратегическими позициями в Индо-Тихоокеанском регионе. Наконец, весьма значимым оказался фактор наличия разветвлённых взаимовыгодных торгово-хозяйственных отношений между европейскими либеральными демократиями и КНР [см., например, 43].

Администрация Б. Обамы поздних лет его президентства в принципе не ставила вопрос о подключении европейских участников альянса к сдерживанию КНР. На первый взгляд, противоречивая ситуация сложилась в годы президентства Д. Трампа. При нём, как никогда ранее на международной арене, США стремились избежать демонстрации любых симптомов своей зависимости от европейских партнёров. Соответственно, Белый дом в конце 2010-х годов не проявлял интереса к присутствию НАТО в Индо-Тихоокеанском регионе (ИТР), однако де-факто обеспечивалась возможность стимулирования европейских стран – участниц блока к этому. Именно при 45-м президенте США стартовала, а при Дж. Байдене была последовательно продолжена линия на совершенствование системы военно-политического взаимодействия, в том числе неформального, с направляющей ролью США и весьма ограниченным составом государств-чле-

нов. Помимо Вашингтона роль ядра здесь играли и другие англосаксонские страны – Австралия и Великобритания. Первым шагом стала активизация использования QUAD – четырёхстороннего диалога по безопасности (Австралия, Индия, США, Япония) с конца 2010-х годов, однако результаты оказались ограниченными. Это объяснялось неготовностью официального Нью-Дели полноценно участвовать в системе сдерживания РФ: Индия имела с Россией разветвлённые и достаточное доверительные отношения, в том числе в политической сфере (пример тому – сотрудничество на полях БРИКС и ШОС) и в области военно-технического сотрудничества.

Следующими шагами США и группы англосаксонских стран в целом стало создание блоков AUKUS (Австралия, Великобритания, США) 15 сентября 2021 г. и Blue Pacific Alliance (Partners in the Blue Pacific; указанный триумвират игроков, а также Новая Зеландия и Япония) 24 июня 2022 г. Даты создания обоих показательны: механизм AUKUS был учреждён вскоре после Брюссельского саммита НАТО 14 июня 2021 г., когда КНР впервые на доктринальном уровне была обозначена как угроза для альянса [24], а Blue Pacific Alliance – накануне Мадридского саммита блока 28–30 июня 2022 г., когда была принята новая стратегическая концепция с фиксированием рисков от “китайской угрозы” [1, р. 3–5].

Возникавшие форматы не просто усиливали систему сдерживания КНР, но и решали задачу стимулирования европейских государств – партнёров НАТО к более активному вовлечению в данный процесс. Роль ИТР заметно возрастала как в торгово-хозяйственном, так и в политическом и военном отношении на глобальном уровне. Это не могло не вызывать усиливавшегося интереса со стороны указанных государств к стратегическому проникновению в регион. Так, Германия предпринимает соответствующие усилия с начала 2020-х годов [14]. Процесс военно-стратегического проникновения НАТО в ИТР осуществлялся не в вакууме, но с опорой на поддержку региональных игроков – Японии и Австралии, в меньшей степени Сингапура и Южной Кореи. Официальные Токио и особенно Канберра, активно участвуя в сдерживании Китая, демонстрировали готовность к сотрудничеству (в частности, доступ к базам на своей территории) с европейскими странами-участницами, полноценно подключившимися к противодействию КНР, а также РФ и КНДР на Дальнем Востоке.

На фоне интенсификации совместных учений Сил самообороны Японии и вооружённых сил отдельных стран – участниц НАТО, в частности, Германии, в конце января 2023 г. генеральный секретарь НАТО совершил визит в Токио [44]. А 5 апреля 2023 г. он в Брюсселе провёл перегово-

ры с делегациями Австралии, Новой Зеландии, Южной Кореи и Японии, что де-юре стало важной вехой в их сближении с НАТО [45]. Символично, что эти переговоры были организованы уже на следующий день после вступления в НАТО Финляндии, то есть укрепления позиций альянса на Севере. На саммите альянса в Вильнюсе 11–12 июля 2023 г. вновь была подчеркнута важность углубления практического сотрудничества блока с Австралией, Новой Зеландией, Южной Кореей и особенно Японией [29].

Что касается группы дальневосточных игроков, то речь вряд ли шла о прямом расширении блока за их счёт (как минимум в среднесрочной перспективе): скорее, ставилась цель согласовать формы возможного присутствия НАТО в ИТР — прежде всего с опорой на официальные Токио и Канберру. Как и в случае Арктики, имеется в виду развёртывание оперативных военно-морских групп, составленных в основном из фрегатов, а также сил ВМС. Наиболее вероятные зоны их появления — к западу от Японских островов во взаимодействии и с частичным подключением кораблей 7-го оперативного флота США. Учреждение военно-морских миссий НАТО возможно уже в ближней и особенно среднесрочной перспективе, принимая во внимание старт консультаций на уровне штабных структур североатлантического альянса и Японии [46].

* * *

В современных условиях использование и развитие блока НАТО — это гибрид целеполаганий, характерных, с одной стороны, для конфронтации Запад–Восток во время “холодной войны”, с другой — периода 1990-х — начала 2010-х годов. Североатлантический альянс вернулся к политике сдерживания влиятельных незападных держав, прежде всего России, сохранив стремление к глобализации своей деятельности. Показательная в этой связи схема, зафиксированная в п. 5 многостороннего заявления государств — членов альянса по итогам Вильнюсского саммита 11–12 июля 2023 г.: в один ряд были поставлены “российская угроза” (как классическая для блока) и международный терроризм — как ключевая неклассическая [29]. Один из лейтмотивов — стремление подчеркнуть сам факт готовности НАТО не только к сдерживанию России, но и обеспечению глобального, в отдалении от зоны ответственности блока, стратегического присутствия в контексте борьбы с группировками международного терроризма. Вместе с тем на практике, с точки зрения объёма выделяемых ресурсов, последняя задача может вернуться в число основных не ранее чем в среднесрочной перспективе. Альянс будет продолжать искать пути укрепления позиций на Ближнем Востоке, а также в Африке, где его ис-

пользование (кроме ливийской кампании 2011 г.) до начала 2020-х годов было практически нулевым. Однако, как представляется, и к середине текущего десятилетия эти попытки [47] будут всё ещё несоизмеримо слабее, чем осуществляемые на Дальнем Востоке и особенно в Арктике.

Североатлантический альянс, его государства-члены продемонстрировали неспособность выработать успешную схему урегулирования вооружённых конфликтов, включая меры по борьбе с международным терроризмом и реформу сектора безопасности любой страны, пытающейся перейти на путь стабильного и мирного развития.

В то же время, в отличие от 1990-х — 2010-х годов, сейчас наблюдается тревожная тенденция — формирование как минимум двух основных направлений глобализации в деятельности НАТО — в Северном Ледовитом океане и в Индо-Тихоокеанском регионе. Не в пример прошлому опыту усиленный акцент будет сделан на использование не сухопутных сил, а ВМС (в меньшей степени ВВС), что обеспечит военно-морским державам, особенно США, серьёзные преимущества. Соответственно, основные усилия будут сосредоточены не на территории зон вооружённых конфликтов, а непосредственно в самих океанах (Северный Ледовитый и Тихий), их морях с опорой на профильные (военно-морские, военно-воздушные) базы стран — участниц НАТО и их партнёров. Тем самым новые направления глобализации в деятельности альянса позволят и географически и функционально резко расширить системы сдерживания РФ и КНР, повышая градус конфронтации. Особенно чувствительными для России и Китая могут оказаться военно-стратегические меры под эгидой НАТО в восточной части Норвежского и Баренцевого морях, севернее их, а также в Восточно-Китайском и Южно-Китайском морях.

ЛИТЕРАТУРА

1. NATO 2022 strategic concept. Adopted by Heads of State and Government at the NATO Summit in Madrid 29 June 2022. Brussels: NATO HQ, 2022.
2. New NATO Force Model. 8.07.2022. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2022/6/pdf/220629-infographic-new-nato-force-model.pdf
3. *Братерский М.В.* Истоки новой холодной войны: Основные черты системного конфликта XXI века // Актуальные проблемы Европы. 2020. № 1. С. 15–31. <https://doi.org/10.31249/ape/2020.01.01>
4. *Данилов Д.А.* Глобальные горизонты атлантического Альянса: “вакцина” Байдена // Современная Европа. 2021. № 5. С. 19–31. <https://doi.org/10.15211/soveurope520211931>
5. *Бубнова Н.И.* Вывод американских войск из Афганистана и политика Вашингтона: что пошло не так? // Россия и современный мир. 2022. № 3.

- С. 72–93.
<https://doi.org/10.31249/rsm/2022.03.05>
6. *Маноило А.В.* Конфликт в Сирии и внешняя политика России // Актуальные проблемы Европы. 2020. № 2. С. 145–172.
<https://doi.org/10.31249/ape/2020.02.06>
 7. *Истомин И.А.* Управление обязательствами в асимметричных альянсах // Международные процессы. 2021. № 1. С. 26–55.
<https://doi.org/10.17994/IT.2021.19.1.64.1>
 8. *Останков В.И.* Успешное решение проблем строительства Вооружённых Сил – важнейшее условие обеспечения национальной безопасности // Военная безопасность Российской Федерации в XXI веке: сборник научных статей под ред. ген.-полк. Ю.Н. Балувеского. М.: ЦВСИ, 2004. С. 210–226.
 9. *Auerswald D., Saideman St.* NATO in Afghanistan: Fighting Together, Fighting Alone. Princeton: Princeton University, 2014.
 10. *Новикова О.Н.* Четвёртая афганская война Великобритании // Актуальные проблемы Европы. 2022. № 4. С. 213–233.
<https://doi.org/10.31249/ape/2022.04.09>
 11. *Маноило А.В.* Современные стратегии кибербезопасности и киберобороны НАТО // Актуальные проблемы Европы. 2020. № 3. С. 160–184.
<https://doi.org/10.31249/ape/2020.03.08>
 12. *Кучинская М.Е.* Арктика в фокусе внимания США и НАТО и интересы безопасности России // Проблемы национальной стратегии. 2020. № 1. С. 68–89.
 13. *Коньшев В.Н., Сергунин А.А.* Современная военная стратегия Норвегии в Арктике и безопасность России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2017. № 2. С. 353–368.
<https://doi.org/10.24891/ni.13.2.353>
 14. *Арзаманова Т.В.* Отдельные аспекты стратегического планирования Германии в Индо-Тихоокеанском регионе в условиях возвращения соперничества великих держав // Актуальные проблемы Европы. 2022. № 4. С. 258–284.
<https://doi.org/10.31249/ape/2022.04.11>
 15. Из второй беседы М.С. Горбачёва с Дж. Бушем. Вашингтон, Белый дом, 31 мая 1990 года // Михаил Горбачёв и германский вопрос. Сборник документов. М.: Горбачёв-фонд, 2006.
 16. *Родович Ю.В.* 1990 и 1994 годы – важнейшие вехи на пути к расширению НАТО на восток // Via in Tempore. История. Политология. 2022. № 3. С. 595–604.
<https://doi.org/10.52575/2687-0967-2022-49-3-595-604>
 17. The Bundeswehr on operations. Berlin: Federal ministry of defence, 2009.
 18. Antrag der Bundesregierung. Fortsetzung und Erweiterung der Beteiligung bewaffneter deutscher Streitkräfte an dem Einsatz einer Internationalen Sicherheitsunterstützungstruppe in Afghanistan. Deutscher Bundestag, 15. Wahlperiode. Drucksache 15/1700, 15.10.2003.
 19. *Белинский А.В., Никуличев Ю.В.* “Американские горки”: эволюция отношений между США и ФРГ в 1989–2019 гг. // Актуальные проблемы Европы. 2019. № 4. С. 135–157.
 20. Rede von Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel in der vereinbarten Debatte: Zur Situation in Deutschland vor dem Deutschen Bundestag 3.09.2013.
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/bulletin/rede-von-bundeskanzlerin-dr-angela-merkel-794298>
 21. Antrag der Bundesregierung. Fortsetzung der Beteiligung bewaffneter deutscher Streitkräfte an dem Einsatz der Internationalen Sicherheitsunterstützungstruppe in Afghanistan. Deutscher Bundestag, 17. Wahlperiode. Drucksache 17/4402, 13.01.2011.
 22. Resolute Support Mission in Afghanistan (2015–2021). 2022. https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_113694.htm
 23. Antrag der Bundesregierung. Einsatz bewaffneter deutscher Streitkräfte zur nachhaltigen Bekämpfung des IS-Terrors und zur umfassenden Stabilisierung Iraks. Deutscher Bundestag, 19. Wahlperiode. Drucksache 19/1093, 07.03.2018.
 24. Brussels Summit Communiqué. 14.06.2021.
https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_185000.htm
 25. *Арзаманова Т.В.* Европейская оборона: пазл со многими неизвестными // Актуальные проблемы Европы. 2020. № 4. С. 21–52.
<https://doi.org/10.31249/ape/2020.04.02>
 26. *Mills C.* Military assistance to Ukraine since the Russian invasion. London: House of Commons Library, 2023.
 27. NATO Response Force. 2022. https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_49755.htm
 28. NATO’s military presence in the east of the Alliance. 2022. https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_136388.htm
 29. Vilnius Summit Communiqué. 11.07.2023.
https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_217320.htm?selectedLocale=en
 30. Defence expenditure of NATO countries (2014–2022). Communiqué PR/CP (2022) 105. Brussels: NATO Public Diplomacy Division, 2022.
 31. Norwegian Armed Forces in transition. Strategic Defence Review by the Norwegian minister of Defence. Oslo: Ministry of Defence, 2015.
 32. US to double number of Marines in Norway amid Russia tensions. 12.06.2018. <https://edition.cnn.com/2018/06/12/politics/us-marines-norway-russia-tensions/index.html>
 33. New Norway – USA Defense Agreement Allows Extensive US Authority in the North. 8.06.2022.
<https://www.highnorthnews.com/en/new-norway-usa-defense-agreement-allows-extensive-us-authority-north>
 34. Trident Juncture 2018. <https://www.nato.int/cps/en/natohq/157833.htm>
 35. Cold Response 2022. 2022. <https://www.forsvaret.no/en/exercises-and-operations/exercises/cr22>
 36. Defence exercise Aurora 23. 2023. <https://www.forsvarsmakten.se/en/activities/exercises/aurora-23/>
 37. Trump confirms he is considering attempt to buy Greenland. 18.08.2019. <https://www.theguardian.com/>

- world/2019/aug/18/trump-considering-buying-greenland
38. Группировки в новых регионах и сроки реформы. Шойгу провёл совещание по увеличению армии. 17.01.2023. <https://tass.ru/armiya-i-opk/16815499>
 39. Joint Viking 2023. <https://www.forsvaret.no/en/exercises-and-operations/exercises/jv23>
 40. Finland to begin exercise Arctic Challenge with allies and partner Sweden. 25.05.2023. <https://ac.nato.int/archive/2023/finland-to-begin-exercise-arctic-challenge-with-allies-and-partner-sweden>
 41. NATO Ships Take Part in Exercise Joint Warrior 23-1. 15.03.2023. <https://mc.nato.int/media-centre/news/2023/nato-ships-take-part-in-exercise-joint-warrior-231>
 42. *Paul M.* Arktische Seewege. Berlin: Deutsches Institut für Internationale Politik und Sicherheit SWP, 2020.
 43. *Зарицкий Б.Е.* Германия—Китай: партнёры, конкуренты или системные соперники? // *Мировая экономика и международные отношения*. 2021. № 2. С. 16–28.
 44. Secretary General in Tokyo: no NATO partner is closer or more capable than Japan. 31.01.2023. https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_211272.htm?selectedLocale=en
 45. Statement of the NATO Secretary General with representatives of Australia, New Zealand, Japan and South Korea. 5.04.2023. https://www.nato.int/cps/en/natohq/opinions_213474.htm?selectedLocale=en
 46. NATO military delegation heads to Japan for staff talks. 3.05.2022. https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_214295.htm?selectedLocale=en
 47. NATO strengthens its partnership with Mauritania. 25.06.2021. https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_185516.htm?selectedLocale=en

THE GLOBALIZATION OF NATO ACTIVITIES: UNIMPLEMENTED AND PROMISING SCENARIOS

Ph. O. Trunov^{1, #}

¹*Institute of Scientific Information for Social Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

[#]*E-mail: Itrunov@mail.ru*

During the decade 2014–2023 NATO has again focused on the containment of powerful non-Western powers (Russia and also China). It means that the Alliance has returned to the logic of functioning and development of the past Cold War. At the same time NATO has intensified its desire for globalization of activities, but in a different geographical configuration and forms than they were at the beginning of XXIst century. The article tries to explore the process of the globalization of the Alliance activities, uses the theory of armed forces' building and the theory of alliances. The author issues the dynamics and the results of unsuccessful NATO's attempts to become the security provider for unstable states in the Middle and Near East (since 2000-s). The choice of new directions of NATO activities outside the Alliance's area of responsibility was reasoned by the need to increase the effectiveness of the "deterrence" of Russia, "containment" of China, emphasizing the Alliance's viability in the situation when the new world order has started to form. The new directions of the NATO's usage at the global level are becoming the Arctic (basing on the cooperation with Norway as the Alliance's member state) and Indo-Pacific region (the key track is the deepening cooperation with Japan and Australia). The scientific paper explores political and military steps of NATO and concludes about the perspectives of NATO activities in both regions.

Keywords: The West, North Atlantic Alliance, the USA, European member states, global presence, the Near and Middle East, confrontation, deterrence, Arctic, Norway, Indo-Pacific region.

ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЙ ВКЛАД АКАДЕМИИ НАУК СССР В СТАНОВЛЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2023 г. С. П. Прохоров^{a,*}

^aИнститут истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, Москва, Россия

*E-mail: sergei.prokhorov@gmail.com

Поступила в редакцию 24.06.2023 г.

После доработки 15.07.2023 г.

Принята к публикации 01.08.2023 г.

История создания советских универсальных электронных вычислительных машин (ЭВМ) — пример способности и готовности Академии наук быть лидером в формировании новых направлений науки и техники. Вся работа, начиная с проектирования этих машин и завершая их программным обеспечением, выполнялась в институтах АН СССР. 4 декабря 1948 г. И.С. Брук и Б.И. Рамеев получили авторское свидетельство на изобретение автоматической цифровой машины. Это был первый официальный документ, подтверждающий начало работ по созданию ЭВМ в Советском Союзе. Первая отечественная ЭВМ (М-1) была создана в Энергетическом институте Академии наук под руководством члена-корреспондента АН СССР И.С. Брука. В Институте точной механики и вычислительной техники АН СССР под руководством академика С.А. Лебедева была разработана самая успешная серия отечественных вычислительных машин БЭСМ. Все первые экземпляры вычислительной техники поступали в руководимый академиком М.В. Келдышем Институт прикладной математики АН СССР, где проходили комплексные испытания. Родоначальником отечественной школы программирования стал академик С.Л. Соболев.

Статья содержит малоизвестные сведения о зарождении в нашей стране нового направления науки и техники — дисциплины “компьютерные науки”. Некоторые исторические документы, хранящиеся в архивах, публикуются впервые.

Ключевые слова: Академия наук, ЭВМ, М-1, МЭСМ, БЭСМ.

DOI: 10.31857/S0869587323100092, EDN: HGBRAY

С дистанции в три четверти века история создания первых советских ЭВМ смотрится впечатляюще. Родоначальником не только нового вида вычислительной техники — универсальных высокопроизводительных электронных вычислительных машин, но и нового направления — компью-

терных наук, прикладные приложения которых в наше время сопровождают человека с момента рождения, стала во второй половине 1940-х годов Академия наук СССР. Работы, выполненные академическими институтами на протяжении 1948–1951 гг., носили исключительно пионерный характер. Статья призвана показать, что современные компьютерные технологии, используемые ныне повсеместно, зародились в работах сотрудников академии.

Предпосылки создания ЭВМ. 1948 год — год рождения отечественной информатики. Именно тогда были организованы Институт точной механики и вычислительной техники АН СССР (ИТМиВТ) и Специальное конструкторское бюро № 245 (СКБ-245) союзного Министерства приборостроения, на которые возлагалась основная ответственность в разработке новых типов вычислительных машин. Особо важная дата в ис-



ПРОХОРОВ Сергей Петрович — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела истории техники и технических наук ИИЕТ РАН.



Рис. 1. Вот так скромно с выдачи свидетельства № 10475 без разъяснения, за какое именно изобретение, началась эра компьютеров в СССР

тории российской информатики — 4 декабря 1948 г. В этот день член-корреспондент АН СССР И.С. Брук и Б.И. Рамеев (позднее доктор технических наук) представили в Государственный комитет Совета министров СССР по внедрению передовой техники в народное хозяйство заявку на изобретение под названием “Автоматическая цифровая вычислительная машина”. Авторское свидетельство № 10475 стало первым официальным документом, подтвердившим, что работы по созданию отечественных электронных вычислительных машин (ЭВМ) перешли в практическую плоскость (рис. 1).

Однако реальными лидерами в разработке новых видов вычислительной техники стали не ИТМиВТ и СКБ-245, а инициативные группы под руководством члена-корреспондента АН СССР И.С. Брука и академика С.А. Лебедева, которые исходили из возможности конструирования отечественной ЭВМ на существовавшей в тот момент отечественной элементной базе, в то время как руководители ИТМиВТ и СКБ-245 полагали,

что это осуществимо только в отдалённом будущем. Итогом инициативных работ стало создание в институтах Академии наук первой советской ЭВМ М-1 (И.С. Брук), за которой последовала МЭСМ (С.А. Лебедев), благодаря чему Советский Союз вошёл в тройку стран мира, вступивших в эпоху компьютеров первыми [1].

Ускорение работ по развитию вычислительной техники и вычислительных методов в СССР во многом связано с итогами первой пятилетки (1928–1932). Гражданская война, разрушенная экономика, остановка заводов и фабрик, непрерывная и яростная борьба с “чуждыми элементами” — всё это нанесло сильнейший удар по системе подготовки научных и инженерных кадров. Ситуация кардинальным образом начала меняться только в первой половине 1930-х годов. Результаты первой пятилетки вскрыли проблемы в области подготовки высококвалифицированных кадров, способных решить поставленную высшим руководством задачу — провести ускоренную индустриализацию страны.

19 сентября 1932 г. вышло постановление ЦИК СССР “Об учебных программах и режиме в высшей школе и техникумах”, в соответствии с которым на изучение фундаментальных дисциплин должно было отводиться 80–85% учебного времени. Основной формой преподавания стали лекции, семинары и лабораторные работы. Вводились обязательные для всех вступительные экзамены, сессии и заключительные экзамены. Были отменены ограничения на приём в высшую школу выходцев из дворян, духовенства и других не-пролетарских слоёв населения [2].

Индустриализация страны с её грандиозными стройками, внедрением новых видов техники потребовала проведения большого объёма расчётных работ. В этой связи в Математическом институте АН СССР (МИАН) в 1934 г. появился отдел прикладных методов и приближённых вычислений, призванный разрабатывать новые методы численных расчётов для решения прикладных задач. В составе отдела предусматривалась отдельная структурная единица — вычислительная группа. Численность её постоянно росла, и к концу 1940-х годов отдел вместе с входившей в него вычислительной группой был самой крупной по составу структурной единицей института [3]. Характерный штрих: количество задач, требующих точных вычислений, непрерывно росло, одновременно росла вероятность ошибок, чреватых опасными последствиями, поэтому все расчёты дублировались и выполнялись в разных организациях. О том, насколько высока была мера ответственности исполнителей, говорит тот факт, что работам, выполнявшимся в расчётном отделе МИАН, присваивался гриф “секретно”.

К 1948 г. стало очевидно, что уровень развития вычислительной техники прямо влияет на национальную безопасность страны. Для поддержки работ по созданию новых технологий Совет министров СССР принял в 1948 г. постановление № 2369 об организации в составе Академии наук СССР Института точной механики и вычислительной техники (ИТМиВТ) [4]. И.В. Сталин, не терпевший конкуренции в партийной среде, понимал важность конкуренции для ускорения научно-технического прогресса, поэтому стремился создавать конкурирующие дублирующие центры. В результате Совет министров выпустил постановление № 4663-1829 о создании новой структуры в Министерстве машиностроения и приборостроения СССР – Специального конструкторского бюро № 245 (СКБ-245) при Московском заводе счётно-аналитических машин [5]. Оба центра получили достаточное штатное расписание и значительное финансирование.

Парадокс, но заниматься созданием электронных машин ни одна из этих организаций не планировала. Директор ИТМиВТ академик Н.Г. Бруевич, будучи специалистом в области точной механики и надёжности механизмов, отдавал предпочтение специализированным механическим вычислительным машинам. Примечательно, что в профиле института, утверждённом при его создании, не упоминалось об электронных вычислительных машинах, по-видимому, из-за неактуальности данного направления. Что касается СКБ-245, то первоначально оно вообще ориентировалось исключительно на разработку простейших видов вычислительной техники – табуляторов. В итоге ИТМиВТ и СКБ-245, хотя и были призваны развивать новые виды вычислительной техники, реально к этому оказались не готовы. Но “свято место пусто не бывает”, поэтому лидерами стали другие, которые впоследствии сыграли решающую роль в разработке первых высокопроизводительных электронных вычислительных машин.

В 1947–1948 гг. в журнале “Успехи математических наук” были опубликованы переводы нескольких статей из американских журналов о ведущихся в США работах по созданию универсальных электронных вычислительных машин [6–9]. В этих статьях в общих чертах излагались принципы организации универсальных вычислительных машин. Не обязательно электронных, это могли быть, например, релейные машины. Ключевое слово здесь “универсальные”, то есть такие, которые способны решать широкий круг задач без перестройки конфигурации машины. Однако в статьях излагались только основные принципы организации вычислений для этого класса машин. Что касается статей, посвящённых конкретным разработкам, то они, по свидетельству С.А. Лебедева, “носят характер рекламы, без

каких-либо сведений о том, как машины устроены” [10, с. 29]. Следует подчеркнуть: работы пионеров отечественной вычислительной техники И.С. Брука и С.А. Лебедева являлись абсолютно оригинальными и самостоятельными.

И.С. Брук ещё до войны занимался созданием вычислительных машин, в частности, сконструировал механический интегратор, который мог решать дифференциальные уравнения до шестого порядка. Он обсуждал возможность создания ЭВМ с академиком А.И. Бергом, директором Всесоюзного научно-исследовательского института радиолокации. Берг рекомендовал Бруку своего сотрудника Б.И. Рамеева, который также интересовался перспективами конструирования ЭВМ. В августе 1948 г. Брук и Рамеев подготовили проект “Автоматическая цифровая вычислительная машина”, где были описаны основные принципы её работы [10, с. 175]. В октябре того же года они представили “Проектные соображения по организации лаборатории при Институте точной механики и вычислительной техники для разработки и строительства автоматической цифровой вычислительной машины” [10, с. 367–371]. Брук ожидал, что именно он возглавит в ИТМиВТ новую лабораторию, но этого не произошло, поэтому решил продолжить разработку ЭВМ в Энергетическом институте АН СССР, где возглавил лабораторию электротехники (рис. 2).

4 декабря 1948 г. Брук с Рамеевым представили в Государственный комитет Совета министров СССР по внедрению передовой техники в народное хозяйство заявку на изобретение “Автоматическая цифровая вычислительная машина”. Авторское свидетельство № 10475 стало первым документом, зафиксировавшим начало работ по созданию универсальных электронных вычислительных машин, а день его выдачи (4 декабря) отмечается как День российской информатики. Так в СССР началась новая эра – компьютеров и информатики.

В том же 1948 г. академик М.А. Лаврентьев увлёк идеей создания электронной вычислительной машины директора киевского Института электротехники АН УССР С.А. Лебедева, специализировавшегося в области техники высоких напряжений и большое внимание уделявшего математическому моделированию линий электропередач (рис. 3). В институте была организована новая лаборатория, которая приступила к разработке ЭВМ.

Создатели первых ЭВМ. И.С. Брук и С.А. Лебедев выступали одновременно и как заказчики новой вычислительной техники, новых вычислительных устройств, и как исполнители. Их творческие пути схожи. Оба закончили МВТУ им. Н.Э. Баумана, оба начинали свой путь как ин-

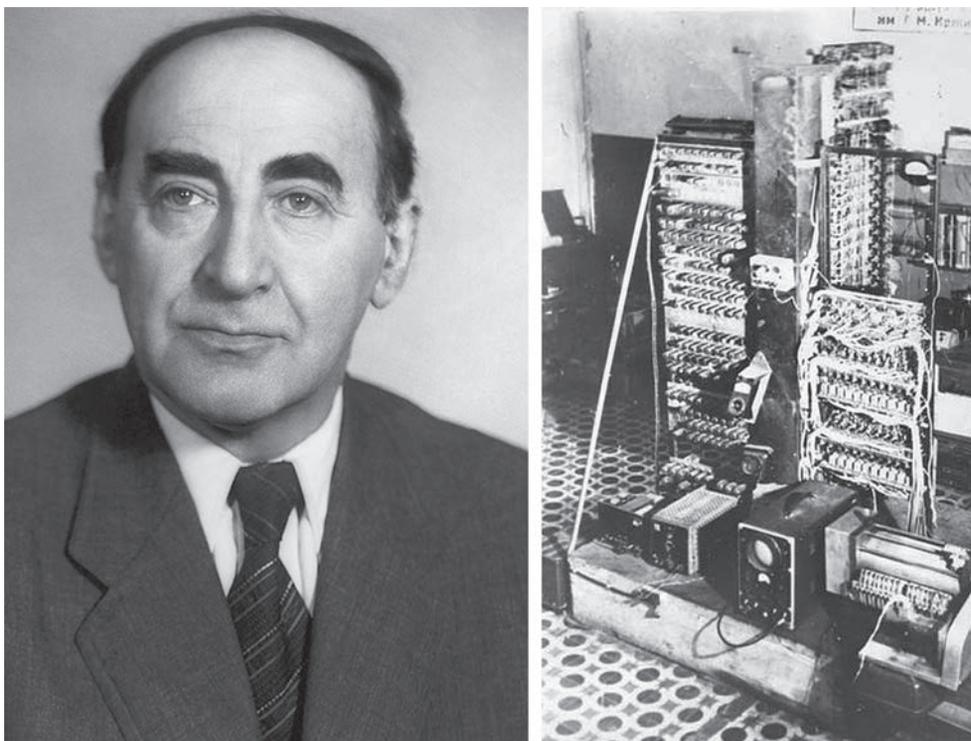


Рис. 2. Член-корреспондент АН СССР И.С. Брук, создатель первого советского компьютера М-1



Рис. 3. Академик С.А. Лебедев, создатель знаменитой серии компьютеров БЭСМ

женеры-электротехники, оба перешли в дальнейшем к конструированию ЭВМ.

Брук в 1935 г. поступил на работу в Энергетический институт АН СССР, где занимался расчётом режимов мощных энергосистем. По ходу исследований им был создан расчётный стол для моделирования сложных электросетей, фактически представлявший собой небольшое специали-

зированное вычислительное устройство. За эти работы в мае 1936 г. ему была присвоена учёная степень кандидата наук, а уже в октябре — доктора наук. Интерес к моделированию вычислительных устройств способствовал созданию Бруком механического дифференциального анализатора для решения систем дифференциальных уравнений до 6-го порядка включительно. По результа-

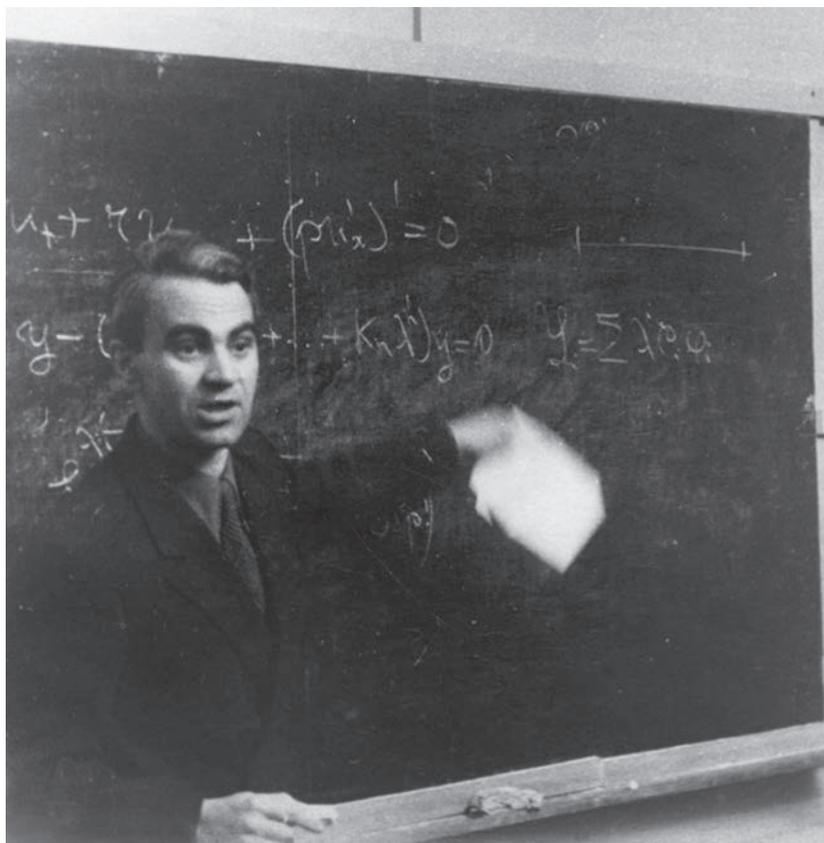


Рис. 4. Академик М.В. Келдыш

там этой работы он был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР [10, с. 175].

Схожий путь прошёл С.А. Лебедев. По окончании МВТУ он поступил на работу во Всесоюзный электротехнический институт, где в 1936 г. организовал отдел автоматики. Проблемы автоматики интересовали молодого учёного не только применительно к электротехнике. Он стал одним из инициаторов работ по автоматизации научных исследований и математических расчётов. В 1936–1937 гг. Лебедев создал дифференциальный анализатор для решения дифференциальных уравнений, в 1939 г. стал доктором наук, минуя степень кандидата [11].

Великая Отечественная война прервала исследование Брука и Лебедева, но сразу по её окончании оба вернулись к реализации своих идей.

Критический момент. В 1949 г. работы И.С. Брука и С.А. Лебедева, едва начавшись, оказались на грани закрытия, поскольку велись исключительно в инициативном порядке. Обе группы испытывали острый дефицит финансирования. В то время в приоритете были исследования в области атомной энергии и ракетной техники. Обеспечивать возраставший объём сложных вычислительных операций, связанных с реализацией этих

важнейших проектов, предполагалось за счёт увеличения числа вычислителей. Однако выдающиеся советские математики академики М.В. Келдыш (он сыграл, возможно, решающую роль в ускорении работ по созданию первых ЭВМ, полной переориентации со специализированных механических интеграторов на разработку универсальных вычислительных машин) и С.Л. Соболев (под его руководством были проведены первые в СССР научные расчёты на ЭВМ, именно он ввёл в обиход термин “информатика”) по достоинству оценили идею создания универсальных электронных машин, что и оказало решающее влияние на поддержку этих работ. Огромная заслуга Келдыша и Соболева состоит в том, что, используя свой высокий научный авторитет, они добились ускоренного развития в нашей стране абсолютно нового направления — электронной вычислительной техники, устраняли препятствия, стоящие на пути её широкого распространения для решения максимально широкого круга задач (рис. 4, 5).

Заседание бюро Отделения технических наук АН СССР 4 июля 1949 г. В апреле 1949 г. бюро Отделения технических наук (ОТН) АН СССР назначило комиссию для всесторонней проверки деятельности ИТМиВТ, поручив ей по результа-

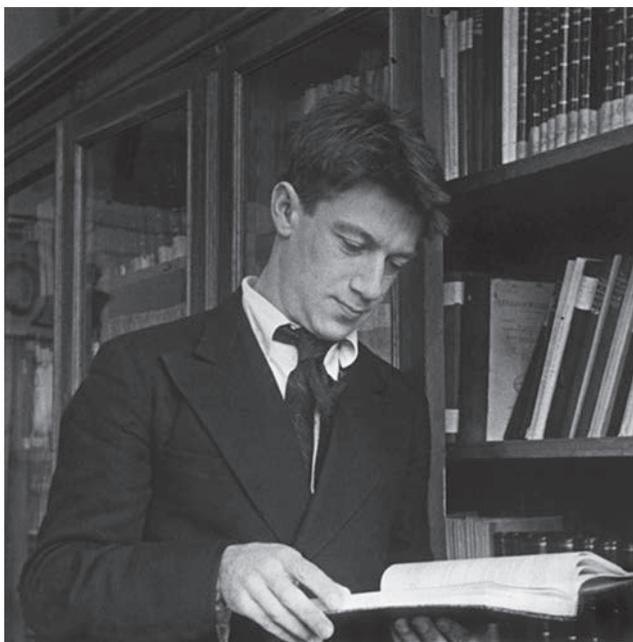


Рис. 5. Академик С.Л. Соболев

там представить отчёт в двухнедельный срок [12, с. 2]. Это поручение выглядело довольно странно, так как институт существовал всего полгода и отчёт о его деятельности за этот краткий период был без существенных замечаний утверждён на заседании бюро ОТН двумя месяцами ранее, в конце февраля 1949 г. [13]. Последующие события показали, что решение провести внеочередную ревизию деятельности ИТМиВТ было связано скорее с политической обстановкой в стране, нежели с научными проблемами [14].

Возглавил комиссию М.В. Келдыш, в то время заместитель директора Математического института. Выбор его кандидатуры в качестве главы комиссии не был случайным. Как руководитель расчётного отдела МИАН он был ответственным за вычислительную поддержку атомных и ракетно-космических проектов, за соблюдение сроков выполнения расчётов. Он лучше, чем кто-либо другой, понимал необходимость скорейшего создания отечественных быстродействующих электронных вычислительных машин, представлял, каковы будут последствия, если СССР отстанет от других стран в этих разработках. Каждое новое задание, требующее вычислений, вело к неизбежному увеличению числа сотрудников вычислительных подразделений. Количество срочных задач непрерывно росло, вычислителей не хватало (к середине 1940-х годов штат отдела приближённых вычислений достиг 80% штата сотрудников института), а по прогнозам специализированные механические машины, которые должны были бы помочь в вычислениях, могли появиться толь-

ко через 5 лет. Всё это грозило парализовать работу. Единственный выход был в создании нового вида техники – универсальных электронных вычислительных машин.

Расширенное заседание бюро Отделения, на котором рассматривалось заключение комиссии по проверке деятельности нового института, состоялось 6 июля 1949 г. – эту дату можно считать ключевой в истории советской вычислительной техники [12]. На заседании были заслушаны доклад М.В. Келдыша и выводы комиссии, в которых деятельность института подверглась жёсткой критике, в первую очередь по причине полного отсутствия работ в области электронной вычислительной техники. В заключении комиссии указывалось, что в перспективном плане института не предусматривается приоритетное развитие работ по созданию универсальных ЭВМ, что недопустимо в ситуации, когда ведущие страны мира форсируют продвижение в этом направлении. По сути, комиссия выдвинула требования, предполагающие кардинальное изменение основного вектора развития института с соответствующим обновлением его структуры. М.В. Келдыш в своём выступлении занял ещё более жёсткую позицию, предложив внести в решение бюро ОТН пункт о необходимости полного закрытия в институте работ по точной механике, созданию специализированных механических вычислительных машин и сосредоточить все усилия исключительно на разработке электронных машин.

В состоявшейся острой и эмоциональной полемике оппоненты Келдыша справедливо отмечали, что в постановлении Совета министров СССР от 6 апреля 1949 г. № 1358 “О механизации учёта вычислительных работ и развитии счётных, счётно-аналитических и математических машин” нет ни слова о приоритетах. Документ предписывал “возложить на Академию наук СССР: а) разработку и выбор схем и технических заданий на проектирование новых типов счётно-аналитических и математических машин для научно-исследовательских целей; б) участие в испытании новых образцов счётно-аналитических и математических машин” [15]. Кроме того, в уставе ИТМиВТ основным направлением его деятельности указывались работы в области точной механики и специализированных математических машин. Более того, в профиле института не было предусмотрено наличия какой-либо структурной единицы, занимающейся исследованиями в области электронных вычислительных машин [16].

Келдыш настаивал на своём предложении, мотивируя его тем, что речь идёт только об уточнении основных направлений работ по вычислительной технике и это никак не противоречит постановлению директивных органов. Но получил довольно жёсткое замечание в ответ, что бюро не

имеет полномочий расставлять приоритеты, каким машинам отдавать предпочтение, что не дело заместителя директора института корректировать постановление правительства страны (подписанное И.В. Сталиным!): “значительно более высокие организации, чем бюро, поставили знак равенства между этими двумя машинами” [12, с. 22].

Келдыш оказался в одиночестве. Никто из участников заседания его не поддержал. Принятое по результатам решение было, как это принято, “взвешенным”. Всё, что удалось Мстиславу Всеволодовичу, это добиться решения об организации в ИТМиВТ отдела по цифровым быстродействующим машинам: “Придавая особое значение созданию цифровых быстродействующих машин, предложить Институту всемерно развивать работы по созданию этих машин, включив их в план 1949 г.” [12, с. 39]. В решении бюро особо отмечалось, что следует обратиться в Совет министров с просьбой подготовить постановление о приоритетном развитии электронной вычислительной техники, увеличении финансирования разработок, касающихся универсальных вычислительных машин, и принятии организационных мер по усилению материальной базы для их создания [12, с. 40].

Несмотря на двойственность, решение заседания бюро ОТН в значительной мере стимулировало ускорение работ по созданию универсальных ЭВМ, способствовало выходу СССР на передовые позиции в мире в области вычислительной техники и её применения для решения научно-исследовательских и научно-практических задач.

Прорыв. В практическом плане очень важны оказались организационные меры, принятые по результатам заседания бюро ОТН. М.В. Келдыш, опираясь на решения бюро, сумел привлечь внимание правительственных органов к необходимости выделить дополнительные ресурсы для ускорения работ по созданию универсальных ЭВМ. Это диктовалось потребностями проектировщиков атомного оружия и ракетно-космической техники [17].

Спустя полгода после упомянутого заседания бюро ОВТ ситуация начала меняться: значительно увеличилось финансирование работ по конструированию ЭВМ, большее внимание стало уделяться кадровому составу разработчиков. Как следствие изменились и требования к деятельности ИТМиВТ. Приоритетным для него направлением была названа разработка цифровой (электронной) быстродействующей автоматической счётной машины. В 1950 г. директором института был назначен академик М.А. Лаврентьев, а разработку электронной вычислительной машины возглавил С.А. Лебедев (академик АН СССР с 1953 г.).

В 1953 г. М.В. Келдыш возглавил новый в системе Академии наук Институт прикладной математики (ИПМ), который на долгие годы стал полигоном испытаний новых видов вычислительной техники, начиная с первых отечественных вычислительных машин. Институт сыграл выдающуюся роль в создании программного обеспечения вычислительных машин, в развитии прикладной математики.

Заседание бюро ОТН, состоявшееся в феврале 1949 г., знаменательно ещё и тем, что в нём участвовали создатели первых будущих отечественных ЭВМ – член-корреспондент АН СССР И.С. Брук, академики М.А. Лаврентьев, С.А. Лебедев, а также академик С.Л. Соболев – родоначальник отечественной школы системного и прикладного программирования. Соболев, который в то время был заместителем директора по науке в Лаборатории измерительных приборов АН (ЛИПАН, позднее – Институт атомной энергии) и руководил расчётно-теоретическими работами по обогащению урана газодиффузионным методом, сразу же по достоинству оценил перспективы, открывавшиеся благодаря применению высокопроизводительных вычислительных машин, и по мере сил поддержал разработчиков М-1.

С октября по декабрь 1951 г. М-1 работала в тестовом режиме. Тогда же Соболев подготовил и лично запрограммировал ряд задач, затем успешно решённых на ЭВМ. Фактически это были тесты, которые должны были продемонстрировать, что машина работает устойчиво и на ней можно вести сложные научные расчёты. Академика С.Л. Соболева без преувеличения можно назвать первым профессиональным программистом в СССР. В начале 1952 г. им были проведены расчёты по обращению матриц большой размерности для задач, связанных с газодиффузионным обогащением урана [18]. Это было первое в отечественной истории применение ЭВМ для решения сложной научной проблемы.

В становлении информатики в СССР принимали участие инженеры, учёные, математики, программисты, филологи, представители других специальностей. Но, пожалуй, Сергей Львович Соболев лучше всех понимал значение и перспективы будущего, связанного с появлением ЭВМ. Он единственный из академиков, из руководителей крупных научных и инженерных направлений имел опыт программирования на ЭВМ. На основании этого опыта он смог реально оценить перспективы массового применения ЭВМ, увидеть проблемы, нуждавшиеся в решении. В их числе разработка теоретических основ программирования, средств описания программ в содержательных терминах (языки программирования), создание дешёвых и надёжных в эксплуатации ЭВМ, развитие новых направлений их примене-

ния — не только для расчётов, но для обработки нечисловой информации, моделирования научных, экономических, социальных процессов [19].

Многими годами позже в статье “Новая наука — информатика”, опубликованной в 1970 г. в одном из первых номеров созданного при активном участии Соболева журнала “Экономика и организация промышленного производства”, он дал определение информатики как науки, изучающей информационные системы, перечислил задачи, которые ей предстоит решать в ближайшем будущем (некоторые из них до сих пор не решены), предсказал, что она со временем проникнет во все сферы человеческой деятельности [20]. В 1952 г. С.Л. Соболев возглавил кафедру вычислительной математики механико-математического факультета МГУ. Выпускники кафедры вошли в яркую плеяду первых советских программистов, ставших родоначальниками советской школы теоретического, системного и прикладного программирования.

Машина М-1 была принята в эксплуатацию 15 декабря 1951 г. В Политехническом музее хранится ценнейший исторический документ — отчёт “Автоматическая цифровая вычислительная машина М-1”, подписанный директором Энергетического института АН СССР академиком Г.М. Кржижановским и исполнителями работ [21]. В отчёте дано полное описание этой машины и принцип действия отдельных её узлов.

М-1 — первая в мире ЭВМ, в которой все логические схемы были выполнены на полупроводниках, благодаря чему она получилась компактной и экономичной. Компьютер содержал в себе всего 730 электровакуумных ламп, его производительность при работе с “быстрой” памятью составила 20 тыс. операций в секунду для сложения и 500 операций в секунду для умножения. Потребляемая мощность — 8 кВт, занимаемая площадь — 4 кв². Для сравнения: запущенный в то же время в США для широкого коммерческого использования компьютер UNIVAC I содержал в себе 5200 вакуумных ламп, выполнял приблизительно 1900 операций в секунду, потреблял 125 кВт, весил 13 т, занимал площадь 36 м².

Есть косвенные данные, которые свидетельствуют о том, что до конца того же года была сдана в эксплуатацию вычислительная машина МЭСМ, которая конструировалась под руководством С.А. Лебедева [12, с. 40]. К сожалению, нет ни одного официального документа (акта о приёмке в эксплуатацию, отчёта о работе и т.д.), содержащего информацию об этом событии. Те данные, которые доступны, касаются состояния МЭСМ в середине 1952 г. [22].

История создания советских универсальных электронных вычислительных машин — прекрасный пример способности и готовности Академии наук быть лидером в развитии новых направлений науки и техники. Вся работа, начиная с проектирования ЭВМ и завершая этапом их программного обеспечения, выполнялась в академических институтах. В последующие годы в Институте точной механики и вычислительной техники АН под руководством С.А. Лебедева была разработана самая успешная серия отечественных вычислительных машин БЭСМ.

Произошло слияние двух волн — запросов на создание новой вычислительной техники для ускорения инженерных расчётов и на создание универсальных вычислительных машин для решения сложных научных задач. Важно, что в Академии наук работали как яркие представители инженерной волны (И.С. Брук и С.А. Лебедев), так и учёные-математики (М.В. Келдыш и С.Л. Соболев).

4 декабря как День российской информатики отмечается в общественном пространстве с 1998 г. В преддверии 75-летней годовщины с начала компьютерного века в нашей стране было бы целесообразно придать этому дню статус государственной памятной даты с включением Дня российской информатики в календарь памятных дат Российской Федерации. Актуальность принятия такого решения важна в свете попыток других стран, входивших ранее в СССР, претендовать на признание их первенства в создании компьютеров.

К сожалению, надо констатировать, что в настоящее время мало внимания уделяется утверждению приоритета отечественной науки даже в ведущих научных направлениях. Это касается и вычислительной техники. Только благодаря усилиям Института истории естествознания и техники РАН мировым научным сообществом признан приоритет российских учёных в создании первой советской (и первой в континентальной Европе!) ЭВМ. А ведь этот факт десятилетиями оспаривался некоторыми зарубежными учёными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прохоров С.П. На заре отечественного компьютерного века // Открытые системы. СУБД. 2014. № 5. С. 41–43. <https://www.osp.ru/os/2014/05/13041828>
2. Постановление ЦИК СССР “Об учебных программах и режиме в высшей школе и техникумах” // РГАСПИ. Ф. 17. Оп. 3. Д. 900. Л. 14–25.
3. Лаврентьев М.А. Пути развития советской математики // Изв. АН СССР. Сер. матем. 1948. Т. 12. Вып. 4.
4. ИТМ и ВТ. История института. <https://www.ipmce.ru/about/history/>

5. Михайлов В.А., Штейнберг В.И. Гонка без финиша. Виртуальный компьютерный музей. https://www.computer-museum.ru/histussr/argon_60.htm
6. Быховский М.Л. Новые американские счётно-аналитические машины // УМН. 1947. № 2. С. 231–234.
7. Айкен Х.Х., Хоннер Г.М. Автоматически управляемая вычислительная машина // УМН. 1948. № 4. С. 119–142.
8. Хартрей Д.Р. Эниак – электронная счётная машина // УМН. 1948. № 5. С. 146–158.
9. Быховский М.Л. Основы электронных математических машин дискретного счёта // УМН. 1949. № 3. С. 69–124.
10. Малиновский Б.Н. История вычислительной техники в лицах. Киев: Фирма “КИТ”, ПТОО “А.С.К.”, 1995.
11. Сергей Алексеевич Лебедев. К 100-летию со дня рождения основоположника отечественной электронной вычислительной техники. М.: Физматлит, 2002.
12. Материалы по обследованию деятельности Института точной механики и вычислительной техники АН СССР // Архив Российской академии наук. Ф. 1559. Оп. 1. Д. 4.
13. Отчёт о научно-исследовательской работе института в 1948 г. // Архив Российской академии наук. Ф. 1559. Оп. 3. Д. 29.
14. Прохоров С., Волков Д. Политика и первые отечественные компьютеры // Открытые системы. СУБД. 2022. № 2. С. 41–43.
15. Постановление Совета Министров СССР, 6 апреля 1949 г. “О механизации учёта и вычислительных работ и развитии производства счётных, счётно-аналитических и математических машин” // Решения партии и правительства по хозяйственным вопросам. Т. 3. 1941–1952 гг. М.: Политиздат, 1968.
16. Архив Российской академии наук // Ф. 2. Оп. 6-а. Д. 56.
17. Крайнева И.А., Пивоваров Н.Ю., Шилов В.В. Становление советской научно-технической политики в области вычислительной техники (конец 1940-х – середина 1950-х гг.) // Идеи и идеалы. 2016. № 3 (29). С. 118–133.
18. Рогачев Ю.В. ЭВМ М4–2М – основа вычислительной сети СПРН // Страницы истории отечественных ИТ. Т. 5. М.: Альпина Паблишер, 2019.
19. Прохоров С.П. Лебедев Сергей Львович – основатель отечественной информатики // Труды SORUCOM-2014. Казань, Россия. Виртуальный компьютерный музей. <https://www.computer-museum.ru/articles/materialy-mezhdunarodnoy-konferentsii-sorucum-2014/695/>
20. Соболев С.Л. Новая наука – информатика // Экономика и организация промышленного производства. 1970. № 6. С. 73–74.
21. Отчёт по работе: Автоматическая цифровая вычислительная машина М-1. https://www.computer-museum.ru/histussr/m1_otchet_0.htm
22. Лебедев С.А., Дашевский С.Л., Шкабара Е.А. Малая электронная счётная машина. М.: Изд-во АН СССР, 1952.

THE FUNDAMENTAL CONTRIBUTION OF THE ACADEMY OF SCIENCES TO THE DEVELOPMENT OF RUSSIAN COMPUTER SCIENCE AND COMPUTER TECHNOLOGY

S. P. Prokhorov^{1,#}

¹*Institute for the History of Science and Technology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[#]*E-mail: sergei.prokhorov@gmail.com*

The history of the creation of the first Soviet universal electronic computers is an excellent example of the ability and readiness of the Academy of Sciences to be a leader in the creation and development of new areas of science and technology. All work, starting with the design of computers and ending with the stage of creating computers and software, was carried out at the institutes of the Academy of Sciences. On December 4, 1948, I.S. Brook and B.I. Rameev received a copyright certificate for the invention of an automatic digital machine. It was the first official document indicating the beginning of work on the creation of computers in the USSR. The first Soviet computer, the M-1, was created at the Power Energy Institute under the leadership of Corresponding Member I.S. Brook. At the Institute of Precise Mechanics and Computer Engineering, under the guidance of Academician S.A. Lebedev, the most successful series of Soviet computers, BESM, was produced. The first copies of all new models of computers before being launched into a series were subjected to comprehensive tests at the Institute of Applied Mathematics, whose director was Academician M.V. Keldysh. Academician S.L. Sobolev was the ancestor of the Russian school of programming. The article contains little-known information about the first steps of computer science in Russia. Some facts about the history of those years were hidden in the archives for a long time and are now published for the first time.

Keywords: academy of sciences, computer, M-1, MESM, BESM.

**“ОБЯЗАНЫ СВОИМ НАЧАЛОМ АКАДЕМИИ”.
МАГНИТНО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ОБСЕРВАТОРИИ
НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ В XIX в.**

© 2023 г. Т. Ю. Феклова^{a,*}

^aСанкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН,
Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: tat-feklova@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.05.2023 г.

После доработки 23.05.2023 г.

Принята к публикации 30.05.2023 г.

В статье впервые представлена история организации и деятельности магнитно-метеорологических обсерваторий Императорской академии наук на тихоокеанском побережье (Дальний Восток, Китай, Аляска). Отражена роль академии в судьбе обсерваторий, установлены фамилии их директоров, под руководством которых расширялись магнитно-метеорологические исследования в обозначенных регионах, сложных как по социально-политическим условиям, так и с точки зрения их транспортной доступности. Проанализирован вклад академика А.Я. Купфера в создание обсерваторий, отмечена роль международного научного сообщества в принятии решения об учреждении самой удалённой от центра России обсерватории на Аляске. Автором обнародованы архивные данные из Российского государственного исторического архива, Санкт-Петербургского филиала архива РАН, Российского государственного архива Военно-Морского флота, Российской национальной библиотеки (отдел рукописей), законодательных актов.

Ключевые слова: метеорология, Академия наук, обсерватория, Аляска, Пекин, Владивосток.

DOI: 10.31857/S0869587323100043, EDN: HFJICQ

В XIX в. Великобритания, Франция, Германия и Россия всё больше расширяли сферу своего влияния в мире. Активно осваивался Тихоокеанский регион. Параллельно с этим происходило развитие научных дисциплин, в том числе метеорологии. “Метеорология, наряду с геофизикой, стала средством научного освоения географического пространства”, хотя в начале XIX в. она была ещё далека от того, чтобы стать глобальной и унифицированной наукой [1, с. 30]. К 1830-м годам внимание научного сообщества переместилось с рассмотрения физических аспектов науки

о климате (астрономические наблюдения) к магнитно-метеорологическим. Стали появляться и развиваться обсерватории нового типа, занимавшиеся магнитно-метеорологическими исследованиями. Активную роль в продвижении этого направления в России сыграла Императорская академия наук в Санкт-Петербурге.

История магнитно-метеорологических обсерваторий Российской империи в Тихоокеанском регионе ранее не привлекала внимание исследователей. Их существование и роль Академии наук в их организации и деятельности либо игнорировались, либо упоминались вскользь. Несмотря на территориальную удалённость, отсутствие развитой системы связи и трудности с доставкой наблюдателей и оборудования, начиная со второй половины XIX в. Тихоокеанский регион входил в зону исследовательских интересов академии. В данной статье основное внимание уделяется становлению научной деятельности трёх обсерваторий, в создании и работе которых академия принимала непосредственное участие: магнитно-метеорологические обсерватории в Ситхе на Аляске (территория России до 1867 г.), 1840–1867 гг.;



ФЕКЛОВА Татьяна Юрьевна — кандидат исторических наук, старший научный сотрудник сектора истории Академии наук и научных учреждений СПбФ ИИЕТ РАН.

в Пекине, 1848–1915 гг. (?); во Владивостоке, с 1913 г. по настоящее время.

Прошлое Русской Америки привлекало внимание большого числа учёных. Несмотря на то, что история Аляски достаточно полно изучена как профессиональными исследователями, так и просто интересующимися историей российских земель на территории Америки, отдельные вопросы до сих пор остаются вне поля зрения. Отрывочные данные о магнитно-метеорологической обсерватории на Аляске содержатся в труде С.Н. Маркова [2], который предпринял попытку отследить судьбу использовавшихся в обсерватории приборов уже после её официального закрытия в 1867 г. Американский учёный К.Л. Эндрю подробно рассматривал историю города Ситхи (бывший Ново-Архангельск), дополняя её уникальными фотографиями [3]. В самой полной англоязычной работе о Ситхинской обсерватории [4] приведены её краткая предыстория, карта месторасположения и рисунок самой станции.

За рамками научных изысканий осталась и организация первой и единственной русской магнитно-метеорологической обсерватории в Китае, располагавшейся на территории Русской духовной миссии и принадлежавшей академии. Наиболее полно её история отражена в работе [5]. Анализ архивных материалов и литературных источников показал, что путь становления и развития отечественных метеорологических исследований в Китае не был предметом отдельного исследования.

Что касается Дальнего Востока, то здесь тема метеорологических исследований раскрыта достаточно подробно. В частности, некоторые моменты расширения метеорологической сети обозначены в монографиях В.Г. Смирнова [6] и В.С. Соболева [7], а Т.З. Позняк составил краткую биографию первого директора обсерватории во Владивостоке [8]. Несмотря на то, что история отечественных магнитно-метеорологических обсерваторий в Тихоокеанском регионе постепенно выходит из тени, мало внимания уделяется вкладу Петербургской академии наук в их создание и поддержание их деятельности.

МАГНИТНО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ НА АЛЯСКЕ

В начале XIX в. в России и в мире происходила институционализация метеорологических исследований, формировались национальные службы погоды. В 1833 г. по настоянию крупнейшего физикохимика того времени А.Я. Купфера был разработан проект об учреждении магнитно-метеорологических станций на заводах, принадлежавших Департаменту горных и соляных дел Министерства финансов (ДГиСД). В 1834 г. император Николай I одобрил докладную записку министра финансов, главноуправляющего Корпусом горных инженеров Е.Ф. Канкринна “Об

учреждении магнитных и метеорологических наблюдений” [9, с. 1250], согласно которой предполагалось открывать обсерватории в разных частях Российской империи за государственный счёт. Отметим, что подобные исследования проводились при заводах департамента и до официального принятия закона (в Барнауле в 1806 г. [10], на Нерчинских заводах с 1832 г.).

Активное участие в расширении сети магнитно-метеорологических станций (в том числе на территории России) принимало международное научное сообщество. В 1836 г. немецкий натуралист и путешественник А. Гумбольдт направил президенту Лондонского королевского общества Д. Гилберту письмо, в котором предлагал план наблюдений за земным магнетизмом, разработанный совместно с А.Я. Купфером и французским астрономом Ф. Араго [11, с. 418]. В 1839 г. на международной метеорологической конференции в Германии, где Купфер представлял Российскую империю, был поднят вопрос о проведении магнитных измерений и учреждении обсерваторий в различных точках земного шара [12, л. 154]. Большую роль в продвижении этих исследований сыграл английский физик Э. Сэбин. Будучи одним из секретарей Лондонского королевского общества, он обратился к российскому послу в Лондоне К.О. Поццо ди Борга с просьбой о содействии в проведении совместных магнитно-метеорологических исследований, а также об организации дополнительных станций на всей территории России, в том числе на Аляске.

В связи с тем, что все магнитно-метеорологические станции и обсерватории первоначально подчинялись ДГиСД (только в 1866 г. некоторые из них были переданы в ведение академии), Купфер, пытаясь поддержать проект Сэбина, обратился к министру финансов Е.Ф. Канкрину с просьбой поспособствовать устройству обсерватории на Аляске. 9 апреля 1840 г. Канкрин, в свою очередь, написал письмо в Главное правление Российско-американской компании (РАК) в Санкт-Петербурге с вопросом о возможности организации обсерватории в столице Аляски Ново-Архангельске. Министр предложил поручить наблюдения А.К. Этолину (назначенному управляющим Аляски), который уже посещал полуостров, в частности, в 1833 г. исследовал его побережья. Ранее в своих письмах к Купферу Этолин неоднократно упоминал о своей готовности к проведению магнитно-метеорологических исследований на Аляске [12, л. 155 об.]. По мнению Канкринна, помощь в проведении наблюдений Этолину должны были оказывать сотрудники РАК [12, л. 156].

19 апреля 1840 г. главный правитель русских поселений в Северной Америке и управляющий Российско-американской компанией М.Д. Тевеньков направил А.К. Этолину письмо с приложением копии предписания Е.Ф. Канкринна о необходимости создания в Ново-Архангельске маг-

нитно-метеорологической обсерватории [12, л. 152]. Купферу поручили обучить нового сотрудника, поступившего на службу в колонию, обращению с инструментами, а необходимое для наблюдения оборудование было выслано Министерством финансов. После размещения инструментов на месте сотрудник обсерватории должен был обучить местных креолов (метисов) проведению простейших наблюдений. Уже 12 августа 1840 г. все необходимые инструменты, изготовленные механиком Академической палаты инструментов Т. Гиргенсоном, на корабле “Наследник Александр” отправились в Ново-Архангельск. В качестве наблюдателей обсерватории (помимо исполнения своих основных обязанностей) РАК были наняты штурманы М.Х. Гоман и В. Иванов, а Купфер обучил их проведению наблюдений. Согласно его первоначальному плану, жалование им должно было выплачиваться из средств Министерства финансов, однако РАК взяла на себя эту функцию (в связи с необходимостью метеорологических исследований для судоходства), а также предоставила наблюдателям квартиры, свечи для освещения и дрова для отопления [13, л. 97].

Формально обсерватория на Аляске, как и все магнитно-метеорологические обсерватории и станции, находилась под непосредственной юрисдикцией ДГиСД (Министерство финансов). Однако организацией всей научной работы (написание инструкций, снабжение инструментами, назначение директоров) заведовала Академия наук (в подчинении Министерства народного просвещения с 1803 г.). Решение финансовых вопросов и бытовых проблем обеспечивалось Российско-американской компанией (полугосударственная, курировалась Министерством финансов [14, с. 47]). Таким образом, сложилась тройственность управления и подчинения обсерватории в Ново-Архангельске, что впоследствии практиковалось и в Пекине. Тем не менее зачастую именно такое разделение обязанностей помогало оперативно и вполне успешно решать возникавшие проблемы, что привело к созданию крупнейшей в то время научной станции на Аляске.

Особую роль Академии наук в развитии магнитно-метеорологических исследований на отдалённых территориях Российской империи отметил непреходящий секретарь академии П.Н. Фус на заседании Физико-математического отделения 9 сентября 1846 г.: “Академия всегда содействовала всеми состоящими в распоряжении её средствами успеху великого магнетического предприятия, составившегося соединёнными усилиями российского и английского правительств, и с участием следила за развитием огромной сети магнетических и метеорологических станций, раскинутой ныне по большей части земной поверхности, из каковых станций находящаяся на Ситхе, в наших американских колониях, обязана своим началом Академии” [13, л. 1 об.].

Изначально планировалось, что магнитно-метеорологические наблюдения на Аляске продлятся не более трёх лет [12, л. 152 об.], однако исследование решено было продлить и расширить. Император Николай I утвердил положение Комитета министров об определении при Ситхинской обсерватории директора и помощника директора (№ 22239 от 4 мая 1848 г.) [15, с. 287], при этом служба на этих должностях засчитывалась по ведомству Академии наук. Результаты климатических наблюдений следовало пересылать в академию с их последующей публикацией. С 1849 г., после учреждения Главной физической обсерватории (ГФО), полученные данные ежегодно публиковались в “Летописях ГФО” и рассылались в основные магнитно-метеорологические обсерватории мира и лично отдельным учёным. В связи с отсутствием службы прогнозов погоды (первые прогнозы стали публиковаться ГФО в “Ежедневных метеорологических бюллетенях” только в 1872 г.) данные обсерваторий просто накапливались.

В 1848 г. по рекомендации академика А.Я. Купфера директором Ситхинской обсерватории был назначен выпускник Главного педагогического института Санкт-Петербурга [16] В.А. Мицендорф. В связи с тем, что на Аляске происходили вооружённые конфликты между русскими поселенцами и местными жителями, помимо основных обязанностей директор обсерватории “по первому сигналу тревоги должен был бросить всё и отправиться с оружием в руках на защиту города, где имеет назначенный пост” [13, л. 21].

В Ситхинской обсерватории ежедневно проводились наблюдения за температурой воздуха (табл. 1), температурой приповерхностного слоя земли, атмосферным давлением, облачностью, осадками. Наблюдения на Ситхинской обсерватории проводились вплоть до 1867 г. и были прекращены по причине передачи Аляски США. Многолетние систематизированные данные имели большое значение для изучения климата северной части тихоокеанского побережья.

МАГНИТНО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ В КИТАЕ

С XVII в. в Китае действовал орден Римско-католической церкви (орден иезуитов). Миссионеры активно занимались изучением страны, в том числе астрономическими исследованиями (с использованием европейских инструментов) для китайского императорского двора [17]. Данное обстоятельство позволило им приблизиться к императору и способствовало укреплению положения европейских стран в Китае. Однако в 1811 г. указом императора Цзяцина все католические миссии были объявлены вне закона [18]. Петербургская академия наук попыталась воспользоваться ситуацией и в 1819 г. предложила императору Александру I проект, согласно которому в

Таблица 1. Среднесуточная температура воздуха в Ситхе, 1852 г.

Месяц	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	В среднем за год
$t, ^\circ\text{C}$	3.4	-0.53	-0.57	3.57	6.33	8.4	10.57	0.27	8.43	6	1.4	-3.4	5.05

Пекине, на территории Русской духовной миссии, предполагалось устроить астрономическую обсерваторию. Работники обсерватории должны были занять места иезуитов при дворе и извлечь из этого пользу для государства [19, л. 13]. Но отсутствие необходимого финансирования не позволило воплотить данный план в жизнь. В 1829 г. вместе с сотрудниками миссии в Пекин была направлена экспедиция Академии наук, которая провела там кратковременные магнитные исследования. В 1839 г. академия вновь подняла вопрос об организации обсерватории. Проект не был поддержан, однако к составу новой миссии был прикомандирован выпускник Санкт-Петербургской Духовной академии И.А. Гошкевич, которого снабдили инструментами для проведения астрономических наблюдений [20, л. 34].

Лишь спустя много лет, в 1848 г., неоднократные попытки академии наладить в Китае систематические исследования увенчались успехом: средства были ассигнованы, и на территории Русской духовной миссии в Пекине была построена первая магнитно-метеорологическая обсерватория, способная также проводить отдельные астрономические наблюдения. Она просуществовала предположительно до 1915 г. (дата последней публикации данных оттуда в «Летописях Главной физической обсерватории»). Директора обсерватории выбирались Академией наук либо из числа сторонних лиц, известных по публикациям (Д.А. Пешуров), либо из сотрудников ГФО (Г.А. Фритше, директор с 20.05.1867 г. по 01.05.1883 г.).

Пекинская магнитно-метеорологическая обсерватория, как и Ситхинская, находилась под тройным управлением. Территория Русской духовной миссии относилась к Азиатскому департаменту Министерства иностранных дел, и претенденты на пост директора обсерватории направляли свои прошения о рассмотрении их кандидатуры именно в Азиатский департамент (Д.А. Пешуров, 1856 г. [21, л. 1–1 об.]). Императорская академия наук предоставляла инструкции, инструменты и утверждала директоров. Стоит отметить, что Г.А. Фритше до назначения в 1867 г. на должность директора Пекинской обсерватории работал вычислителем в Николаевской главной астрономической обсерватории [22, л. 2–2 об.]. Подобно всем магнитно-метеорологическим обсерваториям, Пекинская находилась под управлением ДГиСД. Только в 1866 г. состоялась передача Главной физической, Пекинской и не-

которых других обсерваторий под юрисдикцию Академии наук.

Пекинская обсерватория была не только научным учреждением, но и координирующим центром для сети магнитно-метеорологических станций, которые были разбросаны по обширной территории Монголии и Китая. К 1870-м годам Фритше сумел организовать (самостоятельно или с привлечением сторонних наблюдателей) несколько станций, которые находились под его общим руководством:

- Урга (ныне – Улан-Батор, Монголия), 1869 г., наблюдатели И.М. Сахаров, Г.А. Мосин;
- Тяньцзинь (вблизи Пекина), 1871 г., наблюдатели И.А. Бардачѳ, К.И. Вебер;
- Калган (север Китая), 1871 г., наблюдатель К.И. Громов;
- Крепость Дагу (север Китая), 1872 г., наблюдатели Ганкок, Моргид;
- Сиваньцзы (север Китая), 1873 г., наблюдатели Мейер, Дж. ван Эртселер, ван Гек;
- Келунг (Цзилунг, Тайвань), 1873 г., наблюдатель Н.Н. Титушкин;
- Кяхта (Россия), 1876 г., наблюдатель К.П. Козих.

В дальнейшем Фритше во время своих экспедиций по Сибири также наладил работу ряда магнитно-метеорологических станций и обсерваторий в Екатеринбурге, Нерчинске, Ишиме, Каинске, Красноярске.

Таким образом, расширение сети метеорологических станций в Сибири шло не от Санкт-Петербурга, а от Пекина. На территории Китая, Монголии и Сибири сложилась отдельная от столицы Российской империи ветвь магнитно-метеорологических станций.

Обсерватория в Пекине проводила широкий спектр магнитно-метеорологических наблюдений, прежде всего за температурой воздуха (в том числе в приповерхностном слое земли), атмосферным давлением, облачностью и осадками, а также за напряжением и склонением земного магнетизма (рис. 1). Кроме того, директор обсерватории Г.А. Фритше впервые в истории российской метеорологии стал проводить исследования на разных глубинах почвенного слоя с помощью вытяжных термометров¹ (1869). На основании данных обсерватории и её станций в ГФО разработаны и опубликованы в периодических издани-

¹ Полноценные долговременные наблюдения по методам, близким к современным, были налажены по инициативе директора ГФО Г.И. Вильда (в 1869 г. в Санкт-Петербурге – температура над поверхностью почвы, в 1872 г. – на глубинах по вытяжным термометрам, в 1887 г. в Иркутске).

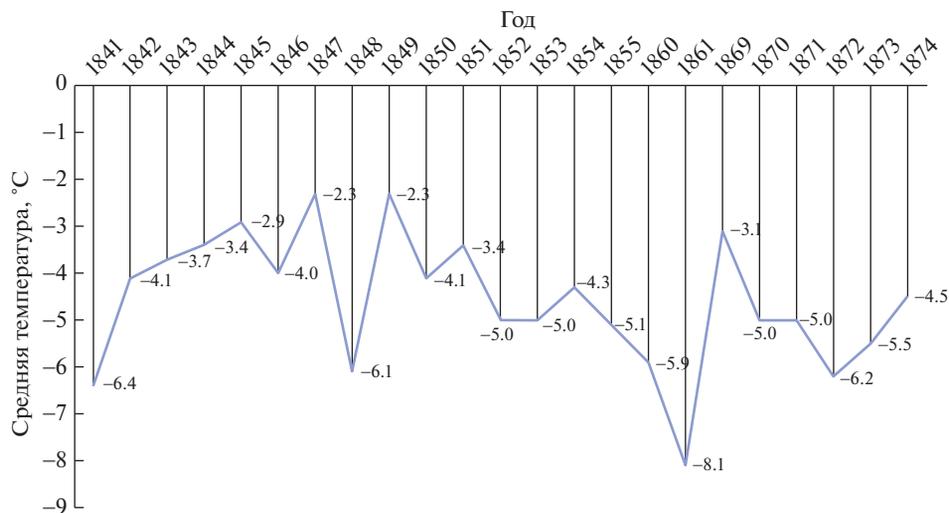


Рис. 1. Средняя температура в январе в Пекине с 1841 по 1874 г. (по измерениям Г.А. Фритше)

ях Академии наук (“Записки Императорской Академии наук”) синоптические карты² погоды Тихоокеанского региона.

Пекинская обсерватория и её станции были включены в общую российскую сеть под управлением Императорской академии наук. Так сформировалась самая протяжённая сеть научных учреждений в мире: от Хельсинки (Финляндия) на западе до Килунга (Тайвань) на востоке.

МАГНИТНО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ ВО ВЛАДИВОСТОКЕ

К середине XIX в., пережив Первую (1840–1842) и Вторую Опиумную войны (1856–1860), Китай фактически стал европейской полуколонией. Несмотря на то, что Россия формально не выступала стороной конфликта, после окончания Второй Опиумной войны между ней и Китаем в 1860 г. был подписан мирный договор, согласно которому Китай переуступал ей значительные территории Дальнего Востока. В том же году на берегу Тихого океана был основан военный пост Владивосток. На тот момент Академия наук уже располагала магнитно-метеорологической обсерваторией в этом регионе.

К 1870-м годам Пекинская обсерватория показала значительные результаты и собрала уникальные данные по основным климатическим показателям в Китае (среднегодовые температуры, атмосферное давление и влажность). Однако её положение оказалось под угрозой ввиду нестабильного политического и социально-экономического состояния страны после поражения в двух войнах, принудительного открытия границ и

роста внутренней инфляции. Поддержание работы обсерватории стало опасным [23] (бунт в Гуйчжоу (юго-запад Китая) в 1864 г., Нянцзюньское восстание 1852–1868 гг. [24]), а также финансово затратным. Кроме того, развитие гражданского и военного флота в Тихом океане, хозяйственное освоение Дальневосточного региона требовали организации собственной магнитно-метеорологической обсерватории в России.

Вопрос о переносе обсерватории из Пекина во Владивосток поднимался Г.И. Вильдом и его помощником М.А. Рыкачёвым 24 февраля 1874 г. в письме директору Гидрографического департамента Морского министерства Г.А. Кригеру. В письме говорилось, что на состоявшемся в 1873 г. Первом метеорологическом конгрессе в Вене был представлен проект главного инспектора таможни в открытых китайских портах Р. Харта об организации ряда метеорологических станций в Китае и о возможности их будущего сотрудничества с японскими, русскими, испанскими, голландскими, французскими и колониальными английскими метеорологическими станциями [25, с. 11]. В связи с этим Вильд видел необходимость в устройстве Главной (или Центральной) обсерватории во Владивостоке, которая заведовала бы всеми остальными станциями на территории региона [26, л. 18]. На первоначальном этапе предпринималась попытка осуществить перенос обсерватории на внутриведомственном уровне и с минимальными затратами. Предполагалось, что понадобится лишь здание, а инструменты будут изъяты из Пекинской обсерватории. В 1876 г. главный командир портов Восточного (Тихого) океана Г.Ф. Эрдман проинформировал управляющего Морским министерством С.С. Лесовского о том, что помещение для размещения магнитно-метеорологической обсерватории во Владивостоке найдено (стоимость покупки 3446 руб.) [27, л. 1]. Однако средства выделены не были, а император

² Синоптические карты – географические карты с нанесёнными на них результатами метеорологических наблюдений. Они позволяют определять погоду в том или ином регионе и выступают важным элементом при построении прогнозов погоды.

Александр II не утвердил план переноса. Вплоть до начала Первой мировой войны Пекинская магнитно-метеорологическая обсерватория оставалась единственной на Дальнем Востоке.

Следующей попыткой организации обсерватории во Владивостоке стал Первый российский метеорологический съезд, проводившийся 24–31 января 1900 г. Императорской академией наук по инициативе директора Главной физической обсерватории М.А. Рыкачёва [6]. Председателем съезда стал президент академии К.К. Романов. Министр финансов С.Ю. Витте выступил с докладом о необходимости учреждения метеорологической обсерватории на побережье Тихого океана [28, л. 6]. Согласно его плану, обсерваторию планировалось разместить в порте Дальний (ныне – Далянь, Китай), однако после обсуждения данного вопроса с начальником Квантунского полуострова Д.И. Субботичем было решено перенести её в Порт-Артур (совр. Люйшунь, Китай).

К осени 1901 г. в Академии наук была составлена смета и разработан план новой обсерватории в Порт-Артуре. Медленное ассигнование средств помешало началу работ (всего на строительство, оснащение и укомплектование персоналом обсерватории по смете требовалось 131 949 руб. 32 к.), а начавшаяся Русско-японская война и передача Ляодунского полуострова Японии [29] заставили академию вернуться к проекту строительства обсерватории во Владивостоке.

18 января 1907 г. заместитель министра по Главному гидрографическому управлению И.Ф. Бострем направил письмо президенту Академии наук К.К. Романову, в котором вновь поднял вопрос о магнитно-метеорологической обсерватории на Дальнем Востоке, а также отметил, что она должна иметь более широкий профиль и работать на благо не только Морского министерства, но и способствовать развитию метеорологии в целом, что невозможно осуществить без непосредственного участия в проекте Академии наук [28, л. 1]. Владивосток был выбран в качестве опорного пункта для размещения обсерватории, потому что к тому времени он уже стал основным узлом для всех морских путей российской Дальнего Востока и остальные метеорологические станции этой территории тяготели именно к нему.

11 февраля 1908 г. при Академии наук была учреждена особая межведомственная комиссия под председательством М.А. Рыкачёва для выработки мер по устройству на берегах Тихого океана магнитно-метеорологической обсерватории [28, л. 2]. Для составления проекта использовался опыт создания самых современных на тот момент обсерваторий в Тифлисе, Екатеринбурге, Иркутске и Павловске. 5 апреля 1910 г. состоялось заседание специальной комиссии по устройству обсерватории во Владивостоке, на котором были утверждены штат и проект со всеми необходимыми зданиями и пристройками, с перечнем расхо-

дов. Всего на строительство, оснащение и поддержание работы обсерватории с 1910 по 1916 г. планировалось потратить 432 750 руб. [28, л. 39 об.]

После столь продолжительного согласования и утверждения 6 января 1913 г. обсерватория во Владивостоке была наконец открыта. Директором назначили руководителя отдела ежедневного бюллетеня погоды Главной физической обсерватории С.Д. Грибоедова [30, с. 26]. Таким образом, проект был осуществлён совместными усилиями Императорской академии наук, Морского министерства и правительства Дальнего Востока, а сама обсерватория начала работать параллельно с Пекинской и стала центральной для ряда магнитно-метеорологических станций Сибири и Дальнего Востока. Здесь проводились стандартные метеорологические наблюдения (температура, влажность, давление), но основной целью был не только сбор обширных данных по климату Приморья, но и предупреждение о надвигающихся штормах и тайфунах.

* * *

Современные вызовы человечеству связаны в том числе с решением проблем, обусловленных изменением климата. Однако история постоянных и достоверных метеорологических исследований, выполненных профессионалами с помощью специализированных приборов и унифицированных методов и методик, насчитывает от силы 200 лет – крайне незначительный срок для проектирования модели возможных изменений климата в планетарном масштабе. Поэтому даже скудные сведения, получаемые в ходе работы одной или нескольких метеорологических станций или обсерваторий, могут внести существенный вклад в изучение метеорологии, история которой в нашей стране началась в 1725 г. с периодических наблюдений за погодой, проводимых Академией наук.

К 1870-м годам метеорологические изыскания в России во многом благодаря Академии наук были поставлены на самый высокий уровень, а сеть отечественных магнитно-метеорологических станций и обсерваторий протянулась от Финляндии до Тайваня. Исследования, проводившиеся в обсерваториях на Аляске, в Китае и Владивостоке, позволили собрать новые данные о ранее не изученном в метеорологическом и магнитном отношении Тихоокеанском регионе, что способствовало переходу от простых наблюдений за погодой к первым погодным прогнозам и появлению нового научного направления – климатологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mahony M.* For an empire of “all types of climate”: meteorology as an imperial science // *Journal of Historical Geography*. 2016. № 51. P. 29–39.
2. *Марков С.Н.* Летопись Аляски. М.: Русский центр “Пересвет”, 1991.

3. *Andrews C.L.* The story of Sitka. The historic outpost of the Northwest Coast. The chief factory of the Russian American Company. Seattle: Press of Lowman & Hanford Co, 1922.
4. *Wendert G., Galloway K., Stuefer M.* On the climate and climate change of Sitka, Southeast Alaska // *Theoretical and Applied Climatology*. 2016. № 126. P. 27–34.
5. *Феклова Т.Ю.* Магнитно-метеорологическая обсерватория в Пекине: хроники событий. М., СПб.: Нестор-История, 2021.
6. *Смирнов В.Г.* Академик М.А. Рыкачёв и развитие геофизики в России. СПб.: Нестор-История, 2014.
7. *Соболев В.С.* На полярных морях и на южных... Записки историка-архивиста. СПб.: Изд-во РГА ВМФ, 2007.
8. *Позняк Т.З.* Жилищный кризис во Владивостоке в годы Гражданской войны: как учитель Унженин и директор метеорологической обсерватории Грибоедов из-за квартиры боролись // *История: факты и символы*. 2018. № 3 (16). С. 54–65.
9. Дополнение ко Второму полному собранию законов Российской империи. Ч. 1. Законы 1825–1843 гг. СПб.: Тип. II Отделения Собственной Е. И. В. канцелярии, 1855.
10. *Люцигер А.О.* Метеорологические наблюдения в Барнауле. <http://altlib.ru/territorii/barnaul/meteorologicheskie-nablyudeniya-v-barnaul/> (дата обращения 17.03.2023)
11. Report upon a Letter Addressed by M. Le Baron de Humboldt to His Royal Highness the President of the Royal Society, and Communicated by His Royal Highness to the Council // *Proceedings of the Royal Society of London*. 1830. V. 3. P. 418–428.
12. РГА ВМФ. Ф. 1375. Оп. 1. Д. 18.
13. РГИА. Ф. 733. Оп. 13. Д. 75.
14. *Степанова Е.Е.* Органы управления Российско-американской компании // *Научный вестник Омской академии МВД России*. 2019. № 1 (72). С. 45–48.
15. Полное собрание законов Российской империи. Собрание второе. Т. 23. СПб.: Тип. II Отделения Собственной Е. И. В. канцелярии, 1849.
16. *Курьлев С.А., Жуковская Т.Н.* Главный педагогический институт (1828–1859): проблемы административной и социальной истории // *Труды Кольского научного центра РАН*. 2019. Т. 10. С. 130–143.
17. *Fei J.* Meteorological History and Historical Climate of China // *Oxford Research encyclopedia*. 2018. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.594> (дата обращения 11.11.2022)
18. *Дацышен В.Г.* Христианство в Китае: история и современность. М.: Научно-образовательный форум по международным отношениям, 2007.
19. РНБ ОР. Ф. 1457. Д. 83.
20. РГИА. Ф. 733. Оп. 12. Д. 517.
21. РНБ ОР. Ф. 1457. Оп. 2. Д. 164.
22. СПбФ АРАН. Ф. 2. Оп. 1–1867. Д. 3.
23. *Кадырбаев А.Ш.* Документы РГА ВМФ о политике Российской империи в Китае и на Тихом океане. 1857–1898 годы // *Восточный архив*. 2012. № 2 (26). С. 22–28.
24. *Непомнин О.Е.* История Китая: Эпоха Цин. XVII – начало XX века. М.: “Восточная литература” РАН, 2005.
25. Report of the Proceedings of the Meteorological Congress at Vienna. London: publ. by E. Stanford, Charing Cross, 1874.
26. РГА ВМФ. Ф. 402. Оп. 2. Д. 2051.
27. РГА ВМФ. Ф. 410. Оп. 2. Д. 4305.
28. РГА ВМФ. Ф. 404. Оп. 4. Д. 201.
29. *Горелов Ю.П.* Последние месяцы Русско-японской войны (1904–1905 гг.). Портсмутский мир // *Вестник Кемеровского государственного университета*. 2012. № 4 (1). С. 36–39.
30. *Померанец К.М.* Несчастья невских берегов. Из истории петербургских наводнений. М.: Центрполиграф, 2009.

“OWE THEIR BEGINNING TO THE ACADEMY”: MAGNETIC AND METEOROLOGICAL OBSERVATORIES IN THE FAR EAST IN THE XIX CENTURY

T. Yu. Feklova^{1,#}

¹*Saint-Petersburg Branch of the Institute for the History of Science and Technology, named by S.I. Vavilov, Russian Academy of sciences, St. Petersburg, Russia*

[#]*E-mail: tat-feklova@yandex.ru*

For the first time in the modern historiography in the article discusses the history of the organization and activity of the magnetic and meteorological observatories of the Russian Academy of Sciences on the Pacific coast (Russian Far East, China, Alaska). The novelty of the claimed topic is the widespread application of sources from the Russian archives (Saint-Petersburg Branch of the Archive of the Russian Academy of sciences, Russian State Historical Archive, the Russian State Navy Archive, the Russian National Library (Department of Manuscripts) and legislative acts, which were not previously achievable to the scientific community. These materials made possible to painstakingly cover the history of those observatories. The author paid special attention to the role of the Academy in the establishment of the observatories. In the article were established the names of the observatory’s directors, under whose leadership magnetic and meteorological research was expanded in the Far East and Siberia, difficult both of socio-political conditions and transport accessibility. The author also analyzed the role of the international scientific community and the contribution of academician of the Russian Academy of sciences A.Ya. Kupfer in the establishment of some observatories.

Keywords: meteorology, Russian Academy of Sciences, observatory, Alaska, Beijing, Vladivostok.

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

ПИОНЕР ИНФОРМАТИКИ И КИБЕРНЕТИКИ
К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА В.М. ГЛУШКОВА

© 2023 г. В. А. Китов^{а,*}

^аРоссийский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

*E-mail: Kitov.VA@rea.ru

Поступила в редакцию 25.03.2023 г.

После доработки 28.03.2023 г.

Принята к публикации 14.07.2023 г.

Статья посвящена жизни и деятельности выдающегося советского учёного, пионера информатики и кибернетики, инициатора разработки общегосударственной автоматизированной системы академика АН СССР Виктора Михайловича Глушкова (1923–1982). Автор повествует об основных этапах его биографии, акцентируя внимание на главных научных достижениях: решении пятой обобщённой проблемы Гильберта, создании крупнейшего в СССР Института кибернетики АН УССР, разработке теории цифровых автоматов, первых персональных компьютеров для инженерных расчётов, самых мощных в СССР суперкомпьютеров с новой макроконвейерной архитектурой, вкладе в кибернетику и информатику, теорию программирования и системы алгоритмических алгебр, в создание систем искусственного интеллекта. Уделяется внимание роли В.М. Глушкова как идеолога и одного из создателей индустрии автоматизированных систем управления в СССР, научного руководителя крупных отраслевых АСУ. Особое внимание уделено предложенной им Общегосударственной автоматизированной системе сбора и обработки информации для учёта, планирования и управления народным хозяйством.

Ключевые слова: В.М. Глушков, ОГАС, АСУ, цифровое государство, цифровая экономика, теория цифровых автоматов, персональные компьютеры серии МИР, суперкомпьютеры, макроконвейер, кибернетика, информатика, информационное общество.

DOI: 10.31857/S0869587323100079, **EDN:** ПВJOS

Выдающийся учёный XX века академик Виктор Михайлович Глушков (1923–1982) известен своими научными результатами мирового значения в математике, информатике и кибернетике, вычислительной технике и программировании, а также созданием в этих областях собственных научных школ. Наиболее весом его вклад в топологическую алгебру, теорию цифровых автоматов, системы алгоритмических алгебр и теорию программирования, теорию проектирования ЭВМ, создание новых компьютеров и архитектур ЭВМ, разработку автоматизированных систем управления технологическими процессами, предприятиями, в создание отраслевых и республиканских автоматизированных систем управления, разработку теории и практики Общегосударственной

КИТОВ Владимир Анатольевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-практической лаборатории искусственного интеллекта, нейротехнологий и бизнес-аналитики РЭУ им. Г.В. Плеханова.



Академик В.М. Глушков. 1980 г.

автоматизированной системы управления народным хозяйством.

Какой же путь прошёл этот неординарный человек, имея в виду его замечательные научные достижения?

Виктор Михайлович Глушков родился в Ростове-на-Дону 24 августа 1923 г. Его отец Михаил Иванович, главный инженер шахтоуправления г. Шахты Ростовской области – выходец из старинного рода донских казаков. Его предок был адъютантом атамана М.И. Платова, отличился в Бородинском сражении, за ратные подвиги удостоен дворянского звания. Мать Виктора Михайловича Вера Львовна, работала бухгалтером, при этом была активной общественницей, избиралась депутатом городского Совета народных депутатов.

21 июня 1941 г., за день до трагического начала войны, Виктор Глушков круглым отличником окончил школу № 1 в г. Шахты. В середине лета 1942 г. немецкие войска оккупировали город, а осенью Вера Львовна по доносу была схвачена фашистами и через несколько дней расстреляна. В середине февраля 1943 г. войска Красной Армии освободили г. Шахты. По состоянию здоровья Виктор не призывался на действительную военную службу, поэтому вместе с другими горожанами активно участвовал в восстановлении разрушенных фашистами донбасских угольных шахт. В 1943 г. Глушков поступил в Новочеркасский индустриальный институт и одновременно – на математический факультет Ростовского государственного университета. В 1948 г., успешно окончив оба, по распределению был направлен на Урал.

В том же году он женился на Валентине Михайловне Папковой, с которой счастливо прожил до конца своих дней. У них родились две дочери – Ольга и Вера. По рекомендации декана математического факультета Свердловского университета профессора С.Н. Черникова Глушков начал преподавать в Уральском лесотехническом институте, тогда же поступил в заочную аспирантуру Свердловского университета. В октябре 1951 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему “Теория локально-нильпотентных групп без кручения с условием обрыва некоторых цепей подгруппы” и вскоре получил учёное звание доцента.

«В 1952 г. Глушков, занимаясь теорией топологических групп, обратил самое серьёзное внимание на пятую проблему знаменитого немецкого математика Гильберта. Эту проблему Гильберт сформулировал как одну из двадцати трёх самых значимых современных математических проблем в 1900 г. В XX в. решение каждой из них оказывалось настоящей сенсацией в мировой науке. К 1952 г. некоторые частные решения, связанные с пятой проблемой Гильберта, были рядом мате-

матиков уже предложены¹. Тогда же была сформулирована обобщённая пятая проблема Гильберта. Упорно работая на протяжении трёх лет, Глушков смог предложить решение обобщённой пятой проблемы Гильберта, что явилось предметом его докторской диссертации. Диссертацию на соискание учёной степени доктора физико-математических наук на тему “Топологические локально-нильпотентные группы” В.М. Глушков защитил в 1955 г. на учёном совете МГУ имени М.В. Ломоносова. Его научным руководителем был знаменитый учёный в области высшей алгебры А.Г. Курош. Выдающиеся математические результаты Глушкова сразу же поставили его в один ряд с ведущими алгебраистами мира. Решение обобщённой пятой проблемы Гильберта, а также исследование свойств и строения локально-бикомпактных групп и алгебр Ли стало весомым вкладом в дальнейшее развитие теории топологических групп и топологической алгебры в целом» [1, с. 6].

Блестящая защита докторской диссертации сделала имя молодого учёного известным в научных кругах, его приглашали на работу в разные учреждения. В итоге он выбрал направление, связанное с ЭВМ, кибернетикой, информатикой и прикладной математикой. В августе 1956 г. возглавил лабораторию вычислительной техники и математики Института математики АН УССР в Киеве (она была создана одним из основоположников советской вычислительной техники академиком АН СССР и АН УССР С.А. Лебедевым и получила известность благодаря разработке её сотрудниками первой советской ЭВМ – МЭСМ²).

В 1957 г. возглавляемая Глушковым лаборатория была преобразована в Вычислительный центр Академии наук УССР, который в 1962 г. стал Институтом кибернетики АН УССР (ИК АН УССР). В 1961 г. Глушков избирается академиком АН УССР, спустя год – вице-президентом АН УССР, а в 1964 г. – академиком АН СССР.

Неутомимая многолетняя работа Виктора Михайловича в должности директора института позволила этому научному учреждению стать крупнейшим в СССР (и одним из крупнейших в мире) научно-конструкторским центром в области информатики, кибернетики, разработки компьютеров и автоматизированных систем управления. В год кончины учёного (1982) ИК АН УССР было

¹ Над решением пятой проблемы Гильберта (является ли группой Ли любая локально евклидова топологическая группа при подходящем выборе локальных координат?) работали американские учёные А. Глиссон, Д. Монтгомери, Н. Циппин, выдающийся русский алгебраист А.И. Мальцев. В.М. Глушков получил результат более сильный, чем американские математики, причём более простым методом, который лучше подходит и для исследования обычной (не обобщённой) пятой проблемы Гильберта.

² МЭСМ – малая электронная счётная машина.

присвоено его имя. С 1956 по 1982 г. научная деятельность Глушкова охватывала информатику, кибернетику, создание новых ЭВМ, теорию программирования и АСУ, причём его исследования в этих областях базировались на фундаменте отечественных математических школ.

Отправной точкой для работ учёного в области теории цифровых автоматов стало понятие, сформулированное в вышедшем в 1956 г. в США научном сборнике С.К. Клини, Э.Ф. Мура и других «Автоматы» (замечу, что в том же году этот сборник был издан в СССР в переводе на русский). «В.М. Глушков хорошо понимал, что теория автоматов в силу своей большой общности может быть применена для создания моделей кибернетических систем в самых разнообразных прикладных областях. Глушковым в руководимом им ИК АН УССР был организован специальный семинар по теории автоматов, имевший как теоретическую, так и практическую направленность. Например, его участниками рассматривались вопросы синтеза схем ЭВМ «Киев», которая проектировалась в то время в Институте кибернетики. Активные участники семинара по теории автоматов (Ю.В. Капитонова, А.А. Летичевский и др.) в дальнейшем стали ядром школы В.М. Глушкова в области теории проектирования компьютеров. Возможность применения алгебраического аппарата для представления схем, программ и других компонентов ЭВМ была главной идеей, объединяющей работы по цифровым автоматам. Глушков построил необходимый математический аппарат и убедительно продемонстрировал, как различные компьютерные компоненты представляются через алгебраические выражения. Следующая его идея состояла в обосновании возможности трансформации алгебраических выражений. Эти трансформации отображали работу инженеров и программистов над компьютерными схемами и программами, что позволило находить адекватные модели компьютерных компонентов для манипулирования ими в ходе как проектирования, так и изготовления. Важнейшая теоретическая статья В.М. Глушкова «Абстрактная теория автоматов» вышла в свет в журнале «Успехи математических наук» в 1961 г. и стала основой работ по теории автоматов с привлечением алгебраических методов» [1, с. 6].

В 1962 г. Виктор Михайлович опубликовал ставшую вскоре знаменитой монографию «Синтез цифровых автоматов» [2]. «Позже эта книга была переведена на английский язык и издана в США и ряде других стран. Цикл работ В.М. Глушкова по теории автоматов был высоко отмечен советским правительством. В 1964 г. он был удостоен звания лауреата Ленинской премии. Эти работы Глушкова имели большое научно-практическое значение. Они открыли принципиально новые горизонты для технологий про-

ектирования новых ЭВМ. Его идеи повсеместно используются в современных системах автоматизации проектирования компьютеров» [1, с. 7].

Ещё один серьёзный научный результат был получен Глушковым в области теории программирования и систем алгоритмических алгебр в виде алгебры регулярных событий и опубликован в академических журналах «Успехи математических наук» (1961) и «Кибернетика» (1965). «В.М. Глушков развил аппарат систем алгоритмических алгебр, который представляет собой двухосновную алгебраическую систему: порождающая алгебра операторов и алгебра трёхзначных логических условий. Научные результаты Глушкова в этой области предвосхитили предложенную голландским учёным Э.В. Дейкстрой в 1968 г. концепцию структурного программирования. Также Глушковым доказана фундаментальная теорема о регуляризации – приведении к структурированной форме произвольного алгоритма, программы или микропрограммы. Первоначально он использовал системы алгоритмических алгебр для описания микропрограмм. Для этого им предложена абстрактная модель компьютера, представляющая собой взаимодействие двух автоматов – управляющего и операционного. Схема автоматного взаимодействия, принятая в абстрактной модели компьютера, могла быть распространена на случай произвольных кибернетических систем, что даёт возможность формализации их функционирования с помощью аппарата систем алгоритмических алгебр. К сожалению, эта теорема Глушкова о регуляризации не была своевременно замечена. Позже она была перекрыта в рамках структурного программирования» [1, с. 7].

Опубликованная в 1974 г. В.М. Глушковым, Г.Е. Цейтлиным и Е.Л. Ющенко книга «Алгебра, языки, программирование» [3] явилась введением в теорию универсальных алгебр для применения этого аппарата в теоретическом программировании. В середине 1970-х годов в связи с активизацией исследований по формализации языков, верификации программ и их оптимизации возникло новое направление на стыке математической логики и теории программирования по алгоритмическим (программным) логикам и логикам процессов. Его аппарат систем алгоритмических алгебр был использован при создании адресного языка ЭВМ «Днепр-2». Глушков считал, что дальнейшее развитие технологий программного обеспечения лежит в совершенствовании алгебр алгоритмических языков. По его убеждению, в результате такого совершенствования выражения в этих языках станут столь же удобными и понятными, как и в аналитических выражениях. Он был уверен, что новые ЭВМ следует проектировать с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР).



В.М. Глушков с сотрудниками у ЭВМ “Днепр”. 1960 г.

Возможность компьютерного проектирования самих компьютеров стала реальной после того, как в первой половине 1960-х годов были предложены методы абстрактной и структурной теории автоматов, позволившие реализовать на практике проектирование электронных схем ЭВМ. В 1970-е годы Глушков со своими учениками из Института кибернетики Ю.В. Капитоновой и А.А. Летичевским продолжили теоретические изыскания в этом направлении, что привело к созданию технологии проектирования ЭВМ под общим названием “Проект”, который составили комплексы “Проект-1” (реализован в 1970 г. на ЭВМ “М-220”), “Проект-ЕС”, “Проект-МИМ” и “Проект-МВК”. Их реализация стала для ряда предприятий страны предтечей САПР ЭВМ. Полученные при создании комплекса “Проект” научные результаты В.М. Глушков, Ю.В. Капитонова и А.А. Летичевский изложили в книге “Автоматизация проектирования вычислительных машин”, вышедшей в свет в 1975 г. В 1977 г. их работа была отмечена Государственной премией СССР.

Глушков внёс значительный вклад в дело создания новых ЭВМ, в совершенствование их архитектур и систем. Ещё в 1958 г. он выдвинул идею разработки универсальной машины широкого назначения, которая нашла практическую реализацию в виде полупроводниковой ЭВМ “Днепр”, созданной под руководством В.М. Глушкова и Б.Н. Малиновского. Конструкторы этой ЭВМ исходили прежде всего из того, что для авто-

матизации управления технологическими процессами достаточно небольшая разрядность машинного слова, равная двадцати шести двоичным разрядам, и обязательное наличие специальных устройств связи с объектами. В Киеве было организовано промышленное изготовление управляющих ЭВМ вначале на заводе “Радиоприбор”, а впоследствии на НПО “Электронмаш”. В это же время под руководством В.М. Глушкова, Б.Н. Малиновского, А.И. Никитина и В.М. Египко на ЭВМ “Киев” были созданы два комплекса программ для управления технологическими процессами выплавки стали в бессемеровском конвертере на металлургическом заводе в Днепропетровске и управления колонной карбонизации на содовом заводе в Славянске.

Важным направлением разработок ИК АН УССР стали ЭВМ для инженерных расчётов – прототипы персональных компьютеров. Первой такой машиной была ЭВМ “Промінь”, её выпуск начался в 1963 г. на Северодонецком приборостроительном заводе. За реализацию принципа ступенчатого микропрограммного управления в этой ЭВМ Глушков получил государственное авторское свидетельство на изобретение. Вслед за “Промінь” создаются ЭВМ семейства “МИР” (сокращение словосочетания “машина для инженерных расчётов”): в 1965 г. ЭВМ “МИР-1”, в 1969 г. “МИР-2”, затем “МИР-3”. От предшественниц их принципиально отличала аппаратная реализация машинного языка, близкого к языку программирования высокого уровня. Эти

компьютеры интерпретировали на аппаратном уровне алголоподобный язык программирования “Аналитик”, созданный в Институте кибернетики командой В.М. Глушкова в составе А.А. Летичевского, Ю.В. Благовещенского и А.А. Дородницыной. ЭВМ “МИР-1” (её создатели были отмечены Государственной премией СССР) и “МИР-2” обладали экраном, на котором можно было писать электронным пером, их размеры не превышали размеров обычного письменного стола.

В 1970 г. вышла в свет монография “Вычислительная машина с развитыми системами интерпретации”, посвящённая принципам совершенствования архитектур ЭВМ следующего поколения (авторы В.М. Глушков, А.А. Барабанов, Л.А. Калинин, С.Д. Михновский и З.Л. Рабинович). В 1974 г. на конгрессе IFIP³ прозвучал доклад В.М. Глушкова, В.А. Мясникова, М.Б. Игнатъева и В.А. Торгашова о рекурсивной ЭВМ, в котором была сформулирована идея создания принципиально нового суперкомпьютера с нефоннеймановской архитектурой. Следует упомянуть тот факт, что на предложенный принцип макроконвейерной архитектуры ЭВМ со многими потоками команд и данных (MIMD в современной классификации) В.М. Глушков получил авторское свидетельство на изобретение. Во второй половине 1970-х годов командой учёных и специалистов Института кибернетики АН УССР (В.М. Глушков – научный руководитель, С.Б. Погребинский – главный конструктор, В.С. Михалевич, А.А. Летичевский и И.Н. Молчанов – ответственные исполнители) был реализован макет макроконвейерной ЭВМ. Созданные на базе этого макета в ИК АН УССР суперкомпьютерные системы ЕС-2701 (1984) и ЕС-1766 (1987) явились дальнейшим развитием ЕС ЭВМ. Они стали самыми мощными суперкомпьютерами в СССР, их номинальная производительность превысила 1 млрд операций в секунду.

В Советском Союзе В.М. Глушков был главным идеологом индустрии АСУ и одним из основных её создателей. Исследования его школы охватывали весь спектр областей автоматизированных систем управления. Вместе со своими учениками и соратниками Глушков внёс неоценимый вклад не только в формирование теоретической базы автоматизированных систем управления предприятиями, но и руководил их практической реализацией. Это прежде всего разработка полного комплекса программно-технических средств для автоматизированного управления в металлургии, судостроении, химической промышленности, микроэлектронике и в ряде других отраслей. Автоматизация измерений и обработка

полученных данных с помощью разработанной в ИК АН УССР управляющей ЭВМ “Днепр” в начале 1960-х годов стали новым шагом в деле автоматизации экспериментальных научных исследований.

В 1963 г. в руководимом им Институте кибернетики Глушков инициировал работы по автоматизированным системам управления предприятиями как отдельное научное направление. Спустя четыре года на львовском телевизионном заводе “Электрон” была принята в эксплуатацию АСУП “Львов”, ставшая первой из рекомендованных к тиражированию⁴. Полученные результаты подвинули Глушкова к решению следующей задачи – созданию типовой АСУП для промышленных предприятий. В итоге появилась АСУП “Кунцево”.

Свои исследования в области АСУП за предыдущие восемь лет В.М. Глушков обобщил в монографии “Введение в АСУ”, опубликованной в 1972 г. [4]. Следует отметить, что разработка и внедрение АСУ в стране наталкивались на значительные препятствия, связанные с тем, что предприятия “гнали вал продукции”, не заботясь в полной мере о её качестве, не говоря уже об оптимизации технико-экономических показателей производства.

С середины 1960-х годов в СССР одним из актуальных научно-практических направлений стало создание отраслевых автоматизированных систем управления (ОАСУ). Первой из них стала ОАСУ Министерства радиопромышленности СССР (научный руководитель проекта – В.М. Глушков, главный конструктор проекта – А.И. Китов), одобренная правительством в качестве типовой для всех девяти министерств оборонного комплекса. В 1970-е годы Глушков как наиболее авторитетный специалист в области АСУ в стране назначался либо научным руководителем, либо научным консультантом государственных проектов автоматизации (помимо АСУ оборонных отраслей, это республиканская АСУ Украины, АСУ “Москва”, АСУ Вооружённых сил СССР и другие).

В 1962 г. президент АН СССР академик М.В. Келдыш организовал встречу В.М. Глушкова с заместителем председателя Совета министров СССР А.Н. Косыгиным, на которой Глушков изложил перспективы использования ЭВМ для экономического управления. Косыгин благосклонно отнёсся к идеям, высказанным Глушковым. После этой встречи в течение всех последующих лет своей жизни Виктор Михайлович прорабатывал и развивал идею создания глобальной компьютерной системы. При этом лично изучил,

³ IFIP – International Federation for Information Processing (Международная федерация по обработке информации).

⁴ В 1970 г. коллектив разработчиков АСУП “Львов” во главе с В.М. Глушковым был отмечен Государственной премией УССР.



Академик В.М. Глушков с сотрудниками Института кибернетики АН УССР доктором технических наук В.П. Деркачём и доктором физико-математических наук Ю.В. Капитоновой. Вторая половина 1960-х годов

как управляется работа большинства объектов народного хозяйства страны, включая заводы и фабрики, предприятия транспорта, горнорудные и др., а также ряда важных государственных органов (Госплан, Госснаб, ЦСУ, Минфин).

Как указано в работе [5, с. 5], “Первоначальный проект автоматизированной системы управления экономикой страны назывался ЕГСВЦ (Единая государственная сеть вычислительных центров). Термин ОГАС появился в начале 1970-х гг.” Важное значение Глушков уделял анализу применения в будущей глобальной системе новых методов государственного управления и экономико-математических моделей. Эти идеи нашли отражение в его книге “Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС” (1975) [6]. В ней автор предложил концепцию ОГАС как единой системы сбора отчётной информации по всему народному хозяйству СССР, планирования и управления экономикой страны с использованием программно-целевого подхода и балансовых методов, а также информационной базы данных для многовариантного моделирования различных путей развития народного хозяйства. Как указано в этой книге, технической основой системы ОГАС должна стать ГСВЦ – государственная сеть вычислительных центров (не путать с системой ЕГСВЦ).

В 1964 г. межведомственная комиссия, куда входили известные специалисты ведущих государственных структур и ряда крупных научно-исследовательских институтов страны, под руководством Глушкова разработала предэскизный проект ЕГСВЦ⁵, предполагавший создание национальной компьютерной сети, объединяющей свыше сотни вычислительных центров в городах СССР. Эти центры предполагалось соединить между собой при помощи каналов связи, а также связать с примерно двадцатью тысячами вычислительных центров промышленных предприятий и организаций Советского Союза. В двух подразделах предэскизного проекта отмечалась необходимость разработки проблемно-ориентированного комплекса математических моделей управления экономикой страны и создания распределённого банка данных. В середине осени 1964 г. проект был вынесен на рассмотрение правительства, где его негативно восприняло руководство ЦСУ СССР.

⁵ С 1958 г. предложения по созданию Единой государственной сети вычислительных центров для управления экономикой страны были сформулированы А.И. Китовым в работах “Электронные вычислительные машины” (1958), “Кибернетика и управление народным хозяйством” (1961) и др. В 1959 г. он отправил свой проект “Красная книга” Н.С. Хрущёву, в котором предлагал создание Единой государственной сети вычислительных центров двойного назначения – для управления национальной экономикой СССР и Вооружёнными силами.



Академики Б.Е. Патон, А.П. Александров, В.М. Глушков. Середина 1970-х годов

Последовала длительная переработка проекта в ЦСУ и Госплане СССР, которая так и не привела к его внедрению в практику.

В 1969 г. в США был запущен проект компьютерной сети ARPANet, что стало стимулирующим фактором возврата к идее создания глобальной компьютерной сети в СССР. В 1971 г., благодаря усилиям Глушкова, задача создания ОГАС была упомянута на XXIV съезде КПСС в выступлении председателя Совета министров СССР А.Н. Косыгина: *“Наше плановое хозяйство позволяет создать общегосударственную автоматизированную систему сбора и обработки информации для учёта, планирования и управления народным хозяйством”* (курсив авт.) [7, с. 53]. Далее в директивах по 9-му пятилетнему плану, принятых на съезде, в разделе о совершенствовании управления и планирования отмечалось, что в СССР необходимо *“Развернуть работы по созданию и внедрению автоматизированных систем планирования и управления отраслями, территориальными организациями, объединениями, предприятиями, имея в виду создать в дальнейшем общегосударственную автоматизированную систему сбора и обработки информации для учёта, планирования и управления народным хозяйством”* (курсив авт.) [7, с. 309].

К сожалению, эти решения не были воплощены в жизнь, но они дали определённый толчок развитию АСУ на различных уровнях управления, а также советской ИТ-индустрии, в которой, по оценкам историков, к концу 1980-х годов работало около 700 тыс. специалистов. Однако вместо чёткого решения о создании ОГАС в стране в резолюциях XXV и XXVI съездов КПСС говорилось лишь о необходимости первоначальной раз-

работки АСУ в масштабах каждой из союзных республик, что так и не привело к формированию единой целостной системы ОГАС. Руководство страны не пошло и на организацию предложенного Глушковым Государственного комитета по совершенствованию управления. Был лишь создан Всесоюзный научно-исследовательский институт проблем организации управления (ВНИИПОУ), который должен был развивать идеи ОГАС, но он прекратил деятельность в этом направлении сразу же после кончины В.М. Глушкова в январе 1982 г.

Неприятие идеи ОГАС со стороны ЦК КПСС и Совета министров СССР можно объяснить прежде всего технической некомпетентностью высшего руководства страны, а также нежеланием среднего управленческого звена работать под чётким контролем со стороны ЭВМ, которые могли бы стать источником объективной беспристрастной информации. Противодействие идеям ОГАС оказывало и лобби учёных-экономистов. Не стоит исключать и противодействие со стороны спецслужб США.

Между тем идеи ОГАС идеально соответствовали самой структуре социалистического централизованного устройства СССР [5, с. 2]. Но в существовавших в то время политических реалиях без воли ЦК КПСС и правительства Глушкову и его соратникам было невозможно самостоятельно решить принципиальный комплекс проблем компьютеризации государственного управления народным хозяйством страны. Архив учёного хранит многочисленные копии записок в советские руководящие партийные и хозяйственные инстанции по вопросам необходимости широко-

масштабного использования ЭВМ и АСУ для решения задач экономики, обороны, государственного управления, образования. Эти документы позволяют составить гипотетический список важнейших государственных дел, оставшихся не реализованными из-за косности существовавшей системы.

Глушков отчётливо осознавал, что нарастающий застой в методах управления чреват катастрофой для страны. Вопреки обстоятельствам активная гражданская позиция учёного не менялась: он регулярно читал лекции для высшего управленческого аппарата и научно-технической общественности. О его позиции свидетельствуют и две с половиной сотни публикаций в научных и научно-популярных изданиях.

Изучив в своё время научные труды Н. Винера, К. Шеннона, А.И. Китова, И.А. Полетаева, А.А. Ляпунова, А.И. Берга, М.Г. Гаазе-Рапопорта и других, Глушков сформировал своё понимание кибернетики. Об этом идёт речь в его монографии «Введение в кибернетику» (1964) [8], в научных статьях, в статьях для Британской энциклопедии и Американской технологической энциклопедии. Глушков был инициатором и главным редактором двухтомника «Энциклопедия кибернетики» (1974), за который авторский коллектив в 1978 г. был удостоен Государственной премии УССР.

Глушков инициировал создание в ИКАН УССР интеллектуальных систем «читающий автомат», «глаз—рука», «самоорганизующаяся система», а также системы автоматизации математических доказательств. Можно утверждать, что они были в числе первых систем искусственного интеллекта в СССР и в мире. Системы имитационного моделирования — ещё одна сфера научных интересов учёного. Он предложил ряд подходов к использованию в информационно-поисковых системах запросов, сформулированных на формализованном естественном языке. Видя постоянно увеличивавшееся быстродействие компьютеров и их всестороннее проникновение в самые разные сферы человеческой деятельности, Глушков был убеждённым сторонником научного направления «Системы искусственного интеллекта». Он утверждал, что постоянное пополнение баз знаний, разработка новых более совершенных методов обработки и хранения полученных данных приведут к принципиальному переходу к информационному обществу, что обеспечит качественный прорыв в развитии цивилизации.

Свои идеи относительно будущего информационного общества Глушков развивает в монографии «Основы безбумажной информатики» (1982) [9], в которой рассматривает информатизацию буквально всех сторон жизни. Особое место в этой монографии занимают проблемы инфор-

матизации образования. Предложенная Глушковым парадигма общегосударственной автоматизированной системы обогнала на годы своё время и предвосхитила современные предложения по созданию электронного правительства и цифрового государства.

В.М. Глушков вёл активную деятельность и на международной арене. Он являлся советником Генерального секретаря ООН по использованию кибернетики и компьютеров в развивающихся странах, советником Генерального секретаря ЦК Компартии НРБ Т. Живкова и научным консультантом правительства ГДР в области автоматизации народного хозяйства. В работе многих международных конференций он участвовал в качестве члена программных комитетов и докладчика. В 1974 г. решением Генеральной ассамблеи IFIP на форуме этой организации в Стокгольме Глушкову была присуждена почётная награда IFIP «Серебряный сердечник». Так была отмечена его работа в качестве члена программного комитета на конгрессах IFIP-1965 и IFIP-1968 и председателя программного комитета на IFIP-1971. Около ста учеников Виктора Михайловича защитили кандидатские и докторские диссертации. Его по праву считают руководителем международной научной школы в области кибернетики и информатики, которая включает в себя учёных не только стран бывшего СССР, но и США, Германии, Болгарии, Венгрии.

Вклад учёного в развитие кибернетики, информатики и компьютерных наук был высоко оценён советским правительством: он удостоен звания Героя Социалистического Труда, трёх орденов Ленина, ордена Октябрьской Революции и др. Глушков был избран иностранным членом академий наук ПНР, ГДР и НРБ. Являлся почётным членом кибернетического общества ПНР и почётным доктором Дрезденского университета. Награждён орденами «Знамя Труда» (ГДР) и «Народная Республика Болгария» I степени. Его результаты в области теории цифровых автоматов, создании многопроцессорных макроконвейерных суперЭВМ были отмечены международной организацией IEEE Computer Society в 1996 г. посмертным награждением В.М. Глушкова почётной медалью Computer Pioneer.

Виктор Михайлович поражал окружающих пронизательным умом, энциклопедической образованностью и глубокой интеллигентностью, оставаясь при этих незаурядных качествах обаятельным и любящим шутку человеком. Его знания в области отечественной и мировой поэтической классики поражали. Он понимал и ценил классическую, современную и народную музыку. Будучи эрудированным во многих областях знаний, особенно любил, помимо математики, физики, химию, астрономию и философию. Свой

первый радиоприёмник смастерил ещё в школьные годы. Владел английским и немецким языками. В его присутствии создавалась ни с чем не сравнимая аура интеллектуального вдохновения и творческого горения.

Истинному подвижнику в науке В.М. Глушкову была присуща гигантская работоспособность. Он опубликовал порядка восьмисот научных работ, из которых большинство написано лично им. Это кажется поистине удивительным, учитывая необходимость руководить ещё и огромным Институтом кибернетики АН УССР, а также быть научным консультантом большого числа проектов государственного масштаба.

Глушков в своих научных работах предвосхитил то, что в наши дни только нарождается в информационном обществе. Он всегда щедро делился с окружающими своими знаниями и опытом, не терял надежды передать их потомкам. В январе 1982 г. незадолго до кончины, находясь в палате реанимации, Виктор Михайлович надиктовал дочери Ольге воспоминания о своём пути в науке. Эти записи, как и другие факты его биографии, опубликованы в двух книгах Б.Н. Малиновского “Академик В. Глушков. Страницы жизни и творчества” [10] и “История вычислительной техники в лицах” (глава “Главное дело жизни”) [11]⁶.

Виктор Михайлович Глушков скончался 30 января 1982 г. в возрасте 58 лет. Он похоронен в Киеве на Байковом кладбище.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ “Модели, методы и алгоритмы искусственного интеллекта в задачах экономики для анализа и стилизации многомерных данных, прогнозирования временных рядов и проектирования рекомендательных систем”, проект FSSW-2023-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Китова О.В., Китов В.А. Они были первыми — основополагающий вклад в отечественную цифровую экономику А.И. Китова и В.М. Глушкова // Цифровая экономика. 2019. № 1 (5). С. 5–16.
2. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. М.: Физматгиз, 1962.
3. Глушков В.М., Цейтлин Г.Е., Ющенко Е.Л. Алгебра, языки, программирование. Киев: Наукова думка, 1974.
4. Глушков В.М. Введение в АСУ. Киев: Техника, 1972.
5. Кутейников А.В. История проекта создания автоматизированной системы управления советской экономикой (ОГАС) в 1960–1980-х гг. // Виртуальный компьютерный музей: https://www.computer-museum.ru/histussr/ogas_sorucom_2011.htm
6. Глушков В.М. Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС. М.: Статистика, 1975.
7. Материалы XXIV съезда КПСС. М.: Политиздат, 1971.
8. Глушков В.М. Введение в кибернетику. М.: АН СССР, 1964.
9. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. М.: Наука, 1982.
10. Малиновский Б.Н. Академик В. Глушков: страницы жизни и творчества. Киев: Наукова думка, 1993.
11. Малиновский Б.Н. История вычислительной техники в лицах. Киев: КИТ, 1995.
12. Глушков В.М. Кибернетика, вычислительная техника, информатика. Избранные труды в трёх томах. Т. 1. Математические вопросы кибернетики. Т. 2. ЭВМ — техническая база кибернетики. Т. 3. Кибернетика и её применение в народном хозяйстве. Киев: Naukova dumka, 1978, 1990.
13. Глушков В.М. Что такое ОГАС? М.: Наука, 1981.
14. Gerovitch S. InterNyet: Why the Soviet Union Did Not Build a Nationwide Computer Network // History and Technology. 2008. V. 24. P. 335–350.
15. Peters B. How Not to Network a Nation: The Uneasy History of the Soviet Internet (Information Policy). Massachusetts Institute of Technology: MIT Press, 2016.
16. Капитонова Ю.В., Летичевский А.А. Парадигмы и идеи академика В.М. Глушкова. Киев: Наукова думка, 2003.
17. Кутейников А.В. На заре компьютерной эры: предыстория разработки проекта Общегосударственной автоматизированной системы управления народным хозяйством СССР (ОГАС) // История науки и техники. 2010. № 2. С. 46–47.
18. Исаев В.П. От атома до космоса: 50 лет АСУ // Открытые системы. 2009. № 5. С. 57–59. <https://www.osp.ru/os/2009/05/9883736>
19. Ревич Ю.В., Малиновский Б.Н. Информационные технологии в СССР. Создатели советской вычислительной техники. СПб.: БХВ-Петербург, 2014.
20. Kitova O.V., Kitov V.A. Anatoly Kitov and Victor Glushkov: Pioneers of Russian Digital Economy and Informatics // IFIP Advances in Information and Communication Technology. 2019. V. 549. P. 99–117.

⁶ Читателям, которые проявят интерес к научному творчеству В.М. Глушкова, автор рекомендует его труды [12, 13] и статьи о нём [14–20].

PIONEER OF INFORMATION SCIENCE AND CYBERNETICS
ON THE 100TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH
OF ACADEMICIAN V.M. GLUSHKOV

V. A. Kitov^{1, #}

¹*Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia*

[#]*E-mail: Kitov.VA@rea.ru*

The article is devoted to the life and work of the outstanding Soviet scientist, pioneer of informatics and cybernetics, initiator of the development of a nationwide automated management information system, Academician of the Academy of Sciences of the USSR Viktor Mikhailovich Glushkov (1923–1982). The author tells about the main stages of his biography, focusing on the scientific achievements: the solution of the fifth generalized Hilbert problem, the creation of the USSR's largest Institute of Cybernetics of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, the development of the theory of digital automata, the first personal computers for engineering calculations, the most powerful supercomputers in the USSR with a new macro-pipeline architecture, contribution to cybernetics and computer science, programming theory and systems of algorithmic algebras, to the creation of artificial intelligence systems. Attention is paid to the role of V.M. Glushkov as an ideologist and one of the creators of the industry of management information systems in the USSR, scientific director of large industrial management information systems. Particular attention is paid to the National Automated System for the Collection and Processing of Information proposed by him for accounting, planning and management of the national economy.

Keywords: V.M. Glushkov, OGAS, ACS, digital state, digital economy, theory of digital automata, personal computers of the MIR series, supercomputers, macroconveyor, cybernetics, informatics, information society.

“МОЯ ПРОФЕССИЯ – ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА”
К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА С.Т. БЕЛЯЕВА

© 2023 г. В. Г. Зелевинский^{а,*}

^аУниверситет штата Мичиган, Ист Лансинг, Мичиган, США

*E-mail: zelevins@frib.msu.edu

Поступила в редакцию 02.05.2023 г.

После доработки 06.06.2023 г.

Принята к публикации 11.09.2023 г.

В статье, во многом основанной на воспоминаниях её автора, представлены вехи биографии, черты неординарной личности, научные достижения Спартак Тимофеевича Беляева (1923–2017) – выдающегося физика-теоретика, известного своими основополагающими работами по квантовой теории систем многих тел и ядерной физике. После окончания школы в 1941 г. он в рядах действующей армии прошёл всю войну. Защитив в 1952 г. диплом Московского физико-технического института, работал в Институте атомной энергии, затем в новосибирском Институте ядерной физики АН СССР (ныне ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН), с 1965 по 1978 г. был ректором Новосибирского государственного университета. После возвращения в Москву до последних дней жизни работал в теоретическом отделе Курчатова института. В 1968 г. избран действительным членом Академии наук. За свои научные достижения удостоен престижных наград, в том числе Большой золотой медали имени М.В. Ломоносова РАН.

Ключевые слова: С.Т. Беляев, ядерная физика, квантовая теория систем многих тел, Бозе конденсат, парные корреляции, Новосибирский государственный университет, Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова АН СССР.

DOI: 10.31857/S0869587323100122, EDN: HFAYAE

Спартак Тимофеевич Беляев родился в Москве 27 октября 1923 г. Его необычное имя в сочетании с традиционным русским отчеством говорит об эпохе – необычные имена были распространёнными в поколении, рождённом в первые послереволюционные годы (упомяну для примера, что в теоретическом отделе Курчатова института работали доктора физико-математических наук Вилен Митрофанович Струтинский и Альфред Иванович Базь, оба из того же поколения).

Я хорошо помню маму Спартак Тимофеевича, Евдокию Тихоновну, и могу предположить, что именно от неё он унаследовал особую жизненную силу. Окончив школу буквально накануне войны, Беляев уже в августе 1941 г. вступил добровольцем в действующую армию. В своей книге “Моя профессия – теоретическая физика” [1] он позволил себе упомянуть несколько фронтовых эпизодов, но иногда, в тесном кругу, делился

ЗЕЛЕВИНСКИЙ Владимир Григорьевич – доктор физико-математических наук, профессор Университета штата Мичиган.



Спартак Тимофеевич Беляев. 1977 г.



В годы Великой Отечественной войны

и другими воспоминаниями о тех годах. Со своей полевой передвижной радиоустановкой он испытал все ужасы войны, прошёл её тяжкими дорогами до Берлина, пережил трагическое отступление на Дону и в кавказских горах в 1942 г., а май 1945-го встретил в центре столицы поверженной нацистской Германии.

После войны, отказавшись от военной карьеры (а ему предлагали её продолжить) и хорошо помня уроки своего замечательного школьного учителя И.Я. Танатара, в 1946 г. он поступил на физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова и вскоре после поступления перешёл на только что образованный физико-технический факультет МГУ (на основе этого факультета в 1951 г. был организован Московский физико-технический институт, поэтому диплом Беляев защищал уже в МФТИ).

Уже в 1949 г., будучи студентом четвёртого курса, Беляев начал работу в легендарной Лаборатории измерительных приборов Академии наук (ЛИПАН), которая в 1956 г. была преобразована в Институт атомной энергии АН СССР, спустя четыре года получивший имя И.В. Курчатова. Ему повезло: он стартовал в науку в тесном контакте с замечательным созвездием таких ярких (и очень разных) гениев, как Герш Будкер, Аркадий Мигдал и Виктор Галицкий.

Как Беляев вспоминал позднее, “атмосфера была очень демократичной, дискуссии свободными и зачастую весьма оживлёнными, ясно об-

наруживая и подчёркивая индивидуальные характеры: утончённую интеллигентность и безупречную корректность Б.Т. Гейликмана, те же черты (за исключением случаев крайнего возбуждения) В.М. Галицкого, темпераментную самоуверенность А.Б. Мигдала”.

Тема дипломной работы – выяснить причины потерь пучков в циклотроне – способному студенту была предложена Будкером. По словам С.Т., сначала Будкер проявлял интерес к его вычислениям, но когда дело дошло до конформных отображений для описания электромагнитных полей, понял, что дело идёт на лад, и, потеряв к работе своего дипломника первоначальный интерес, предоставил С.Т. самому себе.

После защиты диплома Беляев был зачислен в штат отдела А.Б. Мигдала, где в то время под руководством Л.А. Арцимовича и М.А. Леонтовича шла интенсивная и строго секретная работа по физике плазмы и термоядерной проблеме. С.Т. вспоминал, что он работал очень напряжённо, “не глядя по сторонам”. Затем по предложению Леонтовича и Мигдала Беляев в течение четырёх лет работал с Будкером. По словам Спартак Тимофеевича, эти годы были чрезвычайно плодотворными. Именно тогда он вырос в физика-теоретика высокого класса. (Те, кто прошёл войну, росли и созревали в науке много скорее, чем нынешняя молодёжь.)

Природный талант Беляева развивался очень быстро и успешно, как бы в компенсацию за пять упущенных лет. Труды женеvской конференции “Физика плазмы и проблема контролируемых термоядерных реакций” (1958) содержат пять его рассекреченных работ, которые ярко свидетельствуют о крупных теоретических достижениях в разных направлениях. В 1958–1962 гг., занимаясь исследованиями и в Москве, и проведя год в Институте Нильса Бора в Копенгагене, С.Т. получил мировую известность за работы по теории многих тел и структуре ядра. Позднее они принесли ему золотую медаль им. Л.Д. Ландау РАН (1998), медаль Юджина Финберга (2004), Большую золотую медаль имени М.В. Ломоносова РАН (2010), премию им. И.Я. Померанчука (2012).

Первая заметная публикация Беляева (совместно с Будкером) (1956) посвящена релятивистскому кинетическому уравнению, используемому для описания динамики взаимодействующих частиц в плазме [2]. Оказывается, при теоретическом рассмотрении здесь легко нарушить требования теории относительности и допустить распространение сверхсветовых сигналов. Много лет спустя, уже в Мичиганском университете, мне довелось видеть свежую диссертацию, где была допущена именно такая ошибка.

В августе 1958 г. ведущий советский физический журнал – “Журнал экспериментальной и

теоретической физики” опубликовал сразу две статьи Беляева [3, 4]; фактически это были два раздела одной большой работы, выдвинувшей его в первый ряд активно работающих физиков-теоретиков. Её значимость была сразу понята и за границей, один из создателей квантовой электродинамики Фримен Дайсон перевёл статью на английский.

В конце 1950-х годов на базе только что организованного Сибирского отделения АН СССР возник и стал быстро развиваться новый научный центр – новосибирский Академгородок. Руководимый М.А. Лаврентьевым, С.Л. Соболевым, С.А. Христиановичем и другими известными учёными, при поддержке Н.С. Хрущёва Академгородок стал одним из лучших мест (по моему небеспристрастному мнению, лучшим) для развития науки и творческого роста молодёжи. Здесь, в Новосибирске, сравнительно далеко от московской бюрократии, весь стиль существования был более раскрепощённым, чем в столице. Эта раскрепощённость пропитывала не только собственно науку, но и самоорганизацию жизни, свидетельством чему были клубы по интересам, свободные дискуссии на научные и иные темы, некое ощущение общего движения вперёд и личной ответственности за будущее науки и страны. Увы, со временем давление новосибирского и московского чиновничества меняло атмосферу академгородка, энтропия росла, приводя и здесь формы научной и общественной жизни к стандартному единообразию.

Поддержанный И.В. Курчатовым вновь созданный и быстро ставший самым большим в Академгородке Институт ядерной физики (ИЯФ) во главе с Г.И. Будкером был совершенно уникальным образованием. Институт отпочковался от столичного Института атомной энергии как расширенная лаборатория Будкера и зажил своей собственной новой жизнью. Два основных направления – ускорители элементарных частиц на встречных пучках и плазменные установки для термоядерных реакций – сразу вывели ИЯФ на передовые позиции в мировой науке. Но Институт ядерной физики проявлял уникальные черты и в своём внутреннем устройстве. Руководимый мудрым Будкером через “беспорядочную внутреннюю демократию”, при обилии молодых талантливых физиков и далеко от московской бюрократии, институт быстро обрёл известность, став одним из крупнейших мировых физических центров.

С.Т. много работал с Будкером ещё в Курчатовском институте, после Физтеха. Позже он вспоминал, что правила Физтеха требовали от студентов старших курсов реальной практики в серьёзном исследовательском институте. Сначала, по его словам, это была как бы диффузия по

экспериментальным лабораториям. Здесь можно отметить участие Беляева в работах по источникам поляризованных ядер для ускорителей, первое серьёзное соприкосновение с ядерной физикой, после чего он нашёл своё место в теоретическом отделе. Г.И. Будкер – генератор идей, называвший себя релятивистским инженером, увидел в С.Т. быстро растущего физика-теоретика, способного поймать рациональное зерно в постоянно идущих беспорядочных теоретических обсуждениях и дать ему вызреть в новую главу знаний.

К тому времени квантовая теория поля, особенно квантовая электродинамика, достигла серьёзных успехов, объединив различные подходы и построив язык фейнмановских диаграмм, позволяющий классифицировать и суммировать вклады сложных процессов в наблюдаемые физические величины. Естественным развитием стало применение аналогичного подхода к статистическим проблемам квантовой теории систем многих тел – газов, жидкостей, твёрдого тела, в том числе металлов и полупроводников. Стартовой точкой здесь служит модель независимых частиц, а диаграммная техника позволяет включить реальные взаимодействия между частицами, сначала как слабые возмущения, а затем шаг за шагом суммировать их эффекты.

Физика и соответствующая диаграммная техника различаются в применении к Ферми- и Бозе-системам. Фермионы, как электроны в металлах и полупроводниках или нуклоны в ядрах, подчиняются принципу Паули (не больше одной частицы на квантовое состояние). Бозоны, как атомы газа (с целочисленным спином) или в жидком гелии, могут накапливаться в нижнем квантовом состоянии (конденсат, который в идеальном газе при температуре абсолютного нуля плотил бы все частицы).

Первые фундаментальные применения новой диаграммной техники (метод функций Грина) к задачам макроскопической физики практически одновременно удались теоретикам Курчатовского института Галицкому и Мигдалу для фермионов и Беляеву для бозонов (результаты были опубликованы в двух соседних выпусках “ЖЭТФ”). Эти работы открыли по существу новую ветвь теоретической физики для квантовых макроскопических систем, сегодня мы видим их изложение в первых главах университетских учебников. Основная идея, использованная С.Т. для Бозе-газа, заключалась в рассмотрении конденсата как классического резервуара атомов, которые могут в процессе взаимодействия с остальными частицами приобретать ненулевой импульс и возвращаться в надконденсатное состояние. Эта динамика с несохранением числа живых частиц в присутствии конденсатного источника вносила

новые черты в теорию и в соответствующую технику вычислений. Предсказанная Беляевым неустойчивость волновых возбуждений (фононов) с их распадом на два была экспериментально обнаружена только недавно в современных установках с атомными ловушками.

Фундаментальный результат о существовании конденсата не только в идеальном газе, но даже в системе со взаимодействием потребовал сформулировать идею спонтанно нарушенной симметрии, в данном случае фазы конденсата. Построенная в связи с этим диаграммная техника с так называемыми аномальными пропагаторами стала важным инструментом в теоретическом арсенале физики сложных систем и квантовой теории поля. Более общая теория спонтанно нарушенной симметрии лежит в основе современной стандартной модели элементарных частиц и их взаимодействий. С.Т. нравилась эта идея, и неслучайно много позже своё выступление на конференции в Санта-Фе (штат Нью-Мексико, США) в 2004 г. при вручении ему медали Финберга он назвал “Физика многих тел и спонтанное нарушение симметрии” [5]. В том же духе и примерно в то же время построил свой подход к теории сверхпроводимости Л.П. Горьков (он удостоился медали Финберга одновременно с Беляевым). Грустно вспоминать, что оба они и ушли из жизни почти одновременно, с интервалом в неделю; два некролога появились в одном номере “Physics Today”.

Перечитывая теперь классические статьи Беляева о системах бозонов, можно заметить, что его стиль отличается лаконичностью и особым искусством (даже специальным вкусом) введения нужных обозначений. Годы спустя, работая над какими-то текстами, я ловил себя на многословии, вспоминал уроки Беляева и начинал сокращать и менять аргументацию и обозначения.

И.В. Курчатов хорошо понимал необходимость реальных рабочих контактов с мировой наукой. После сталинских времён крайне важным представлялось активное участие советских физиков в Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии (сентябрь 1958 г.) с рассекречиванием ряда работ Института атомной энергии АН СССР по физике плазмы и термоядерных реакций. Тогда многим казалось, что эра термоядерной энергии, которая позволит решить важнейшие проблемы человечества, уже не за горами. Пять статей Беляева вошли в труды конференции, в том числе совместная с Будкером работа о многоквантовой рекомбинации в ионизованном газе как пример стохастического процесса и статья о кинетике ионизованного газа в сильном магнитном поле. Развита в первой из этих работ глубокая идея рассмотрения многоквантовой рекомбинации как диффузии в про-

странстве энергии позднее широко использовалась в квантовой оптике. Вторая работа интересна своим подходом: в магнитном поле траектория заряженной частицы представляет собой винтовую линию, навивающуюся на силовые линии поля. В сильном поле радиус поперечной орбиты уменьшается, и весь объект ведёт себя как некая новая частица, движущаяся вдоль магнитного поля. Беляев свёл задачу к кинетике таких частиц, которые он назвал “ларморонами” (по имени теоремы Лармора о движении заряда по винтовой линии в магнитном поле).

Следующим шагом Курчатова, который помог открыть новую главу в жизни Беляева, стала договорённость Игоря Васильевича с Нильсом Бором о долговременных визитах молодых физиков в Институт Бора в Копенгагене. В 1957–1958-м Беляев провёл в общей сложности год в этом институте, который, как он писал позже, в течение десятилетий был Меккой для физиков всего мира. Сам образ жизни в институте Бора был, по словам С.Т., впечатляющим: “поражала демократичность, отсутствие барьеров между маститыми и начинающими, неназойливая забота о каждом госте, и не только о его работе, но и о отдыхе, вживании в копенгагенский быт” [6]. Эта норма жизни организации сохранилась и в последующем, уже без Нильса Бора, как мне самому посчастливилось почувствовать (в 1979–1980, 1991–1992 и 1995 гг.).

Именно здесь окончательно сформировались собственный стиль С.Т. и его научное мировоззрение: в теоретической физике формулы должны не заслонять, а подчёркивать и логически развивать ясную физическую картину явления. Как предельный случай мудрой простоты изложения он упоминал книгу Бора о прохождении атомных частиц через вещество (А.Д. Галанин перевёл её на русский в 1950 г.) и его классическую работу, которая не содержит ни одной формулы, о составном (“компаунд”) ядре после захвата медленного нейтрона. Известная иллюстрация этого процесса (ядро в виде бильярдной тарелки со сталкивающимися шариками, куда попадает лишний шарик) использовалась многими авторами. (Сознаемся в собственном грехе – с моим соавтором А. Волей мы взяли эту картинку, перерисованную Н. Андреевой, для иллюстрации квантового хаоса в недавно вышедшей книге “Mesoscopic Nuclear Physics”.) Не зря Эйнштейн назвал стиль Бора наивысшей музыкальностью в области мысли.

Спартак Тимофеевич неоднократно говорил (и писал в специальном номере журнала “Импакт”, посвящённом столетию со дня рождения Нильса Бора) о ценности подхода Бора к философским проблемам физического миропонимания. Его принцип соответствия говорит о диалек-

тике взаимоотношений известной научной теории и её обобщений в новых, более глубоких, теориях. В соседней статье того же выпуска журнала “Импакт” (автор Карен Коул) приводится родственное по смыслу высказывание другого известного физика, Эмилио Сегре: “Одна из самых привлекательных особенностей науки в том и состоит, что точки зрения, кажущиеся диаметрально противоположными, впоследствии, в более широкой перспективе, оказываются одинаково верными”. Принцип дополнительности, сформулированный первоначально в ходе дискуссий, связанных с соотношениями квантовой неопределённости, приобрёл в понимании Бора более широкое значение. С.Т. любил рассказывать, какое глубокое впечатление произвёл на него ответ Бора на студенческий вопрос: что служит дополнением к понятию “истина”? Вместо ожидаемого “ложь” Бор ответил: “ясность”. Это можно понимать по-разному, но мне кажется, что истина в науке (и вообще во многих сферах человеческой деятельности) всегда многогранна, в то время как ясность видит только одну грань, но зато очень отчётливо.

Собственная работа Беляева в Институте Бора была исключительно успешной, хотя и в новой для него области теоретической физики — теории ядерной структуры, ставшей для него основной сферой научных интересов в последующие годы. К концу 1950-х годов уже удалось накопить обширный экспериментальный материал по ядерным реакциям и квантовым уровням энергии различных ядер, но ощущалась нехватка общих идей, которые позволили бы понять систематическое поведение ядерных спектров и электромагнитных характеристик ядер.

В те годы проблемы ядерной структуры были одним из основных направлений, развиваемых в Институте Нильса Бора. В центре теоретических исследований по структуре ядер стояли два выдающихся физика — Оге Бор (сын Нильса Бора) и приехавший из США Бен Моттelson, оставшийся в Дании навсегда. Внешне очень разные, несколько флегматичный Бор и живой, быстро реагирующий Моттelson, они выработали общий стиль работы, хорошо понимая друг друга.

Стоит сказать несколько слов о состоянии ядерной теории в то время. Основой её дальнейшего развития явилась теория ядерных оболочек, предложенная в конце сороковых годов Марией Гепперт-Майер и независимо от неё Хансом Йенсенем, написавшими потом совместно классическую книгу “Элементарная теория ядерных оболочек” [7] и получившими Нобелевскую премию в 1963 г. Хотя аналогию квантовых уровней нуклонов (протонов и нейтронов) в ядрах с оболочками, заполняемыми электронами в атомах, были очевидны и раньше, не удавалось объяснить по-

следовательности магических ядер — таких, где оболочка заполнена, ядра особенно устойчивы и возникает заметный энергетический просвет до следующей оболочки. Решающей оказалась идея (по легенде, впервые высказанная Э. Ферми) о сильной, в отличие от атомов, связи орбитального движения нуклонов с их спином. Нуклонные уровни энергии расщепляются и дают правильные магические числа.

О. Бор и Б. Моттelson сделали следующий важный шаг в понимании ядерной структуры: они показали, что при накоплении нуклонов в оболочке сверх магического числа происходит изменение формы ядра — вместо сферического оно становится деформированным, наподобие эллипсоида (сейчас мы знаем, что и более сложные деформации, например грушевидные, тоже возможны). В 1975 г. они были удостоены Нобелевской премии (совместно с американским физиком Джеймсом Рейнуотером). Деформированное ядро приобретает выделенные геометрические оси, и в результате возникают характерные серии вращательных уровней энергии с простыми закономерностями расстояний между ними.

Оставалась одна фундаментальная проблема ядерной структуры. Давно было известно, что чётно-чётные ядра (с чётными числами протонов и нейтронов) более устойчивы, чем ядра, где число нуклонов хотя бы одного сорта (или тем более обоих сортов) нечётно. Это обстоятельство играет важнейшую роль во всех вопросах, связанных с использованием ядерной энергии деления урана. Ядра наиболее распространённого изотопа уран-238 как раз чётно-чётные и не делятся медленными нейтронами, в то время как деление возможно для нечётного изотопа уран-235, который содержится лишь в малой доле в естественной смеси изотопов урана. Именно этот фактор диктует необходимость решения сложнейшей проблемы обогащения урана.

В 1958 г. Оге Бор, Бен Моттelson и Дэвид Пайнс высказали предположение, что в ядрах существуют парные корреляции такого же типа, как парные корреляции электронов в сверхпроводящих металлах, сочтя свою идею возможной аналогией. Годом ранее теория низкотемпературной сверхпроводимости была построена Джоном Бардином, Леоном Купером и Робертом Шриффером, за что они удостоились Нобелевской премии 1972 г. Вероятно, это пример самой долгой задержки теоретического объяснения важного физического явления после экспериментального его открытия (сверхпроводимость была обнаружена в лаборатории Г. Камерлинг-Оннеса Лейденского университета в 1911 г.). Сверхпроводимость возникает благодаря образованию коррелированных электронных пар, что оказывается энергетически выгодным, если существует хотя

бы слабое притяжение между электронами, превышающее их кулоновское отталкивание (эффект Купера, 1956). Кстати, до сих пор отсутствует общепринятая теория высокотемпературной сверхпроводимости в некоторых сложных соединениях (она открыта К.А. Мюллером и Й.Г. Беднорцем в 1986 г., за что в 1987 г. они были удостоены Нобелевской премии) или под высоким давлением.

Полную теорию парных корреляций в ядрах Беляев построил во время своего пребывания в Институте Бора. Посвящённая ей статья в 1959 г. была опубликована в отдельном выпуске бюллетеня Датской академии наук [8] и послужила основой докторской диссертации С.Т., которую он защитил в 1962 г. До сих пор этот объёмистый текст остаётся в списке наиболее цитируемых в ядерной физике. Он содержит полный математический аппарат и детальный анализ возникающих благодаря парным корреляциям новых физических явлений. В отличие от куперовского спаривания в макроскопических сверхпроводниках, в ядрах парное притяжение должно быть достаточно сильным, чтобы спаривание осуществилось. Беляев предсказывает критическую силу необходимого для этого взаимодействия.

Парные корреляции не только влияют на устойчивость ядер (вспомним пример изотопов урана), но и меняют многие наблюдаемые ядерные характеристики. Типичным примером может служить ядерное вращение. Идеально сферический квантовый объект не имеет вращательных возбуждённых состояний — возможные естественные оси вращения отсутствуют. Выше упоминалось, что ядра могут быть деформированными. Если, например, ядро получило форму эллипсоида вращения, имеет смысл говорить о его вращении вокруг оси, перпендикулярной оси симметрии. Вращательные состояния образуют, как в молекулах, полосы уровней с растущим угловым моментом. Энергии вращательных полос, как в классической механике твёрдого тела, обратно пропорциональны моменту инерции системы. Существует теорема, что в системах фермионов момент инерции, с точностью до флуктуаций, такой же, как у классического тела такой же формы. Фактически оказалось, что наблюдаемый момент инерции деформированных ядер, определяемый по расстояниям между уровнями вращательных полос, заметно меньше. Теория Беляева предсказывает этот эффект и даёт правильные значения. По мере роста вращательной энергии парные корреляции слабеют, пары разрываются, и момент инерции приближается к нормальному твердотельному значению.

Значительно позже, с развитием экспериментальной техники с использованием лазеров и сверхнизких температур, начались (и продолжа-

ются) детальные исследования коллективных явлений в естественных и экспериментально созданных атомных и молекулярных системах с многообразными применениями (к атомным часам, магнетизму, квантовой химии, поиску тёмной материи и т.д.). Одно из интересных направлений — так называемый “BCS–BEC” переход (BCS здесь означает фермионный газ со сверхпроводимостью, описываемый упомянутой выше теорией Бардина, Купера, Шриффера). При более сильном взаимодействии спаривание превращает куперовские пары в тесно связанные настоящие бозоны, которые образуют бозе-эйнштейновский конденсат (BEC). Теория Беляева показывает, что при таком переходе вращательные свойства системы заметно меняются; например, момент инерции такого ядра в форме эллипсоида был бы мал, определяясь только вращением деформированных “шапочек” эллипсоида.

После возвращения из Копенгагена ядерная физика на много лет стала основной ареной теоретической работы Спартака Тимофеевича. Атомное ядро — живая самоподдерживающаяся система взаимодействующих протонов и нейтронов, пар и неспаренных частиц. Кроме коллективного вращения, взаимодействие может возбуждать поверхностные волны и колебания плотности. Все такие коллективные явления несут отпечатки существующих парных корреляций, постепению ослабевающих по мере роста энергии возбуждения. Эта сложная многочастичная физика необходима для понимания и предсказания результатов ядерных реакций в лаборатории и в космосе. Для меня вся эта область, совершенно мне незнакомая после моего университетского курса теоретической физики, стала главным интересом, когда судьбе было угодно познакомить меня с С.Т. и привести в Курчатовский институт.

После первого года моей аспирантуры в Курчатовском институте, Галицкий и Беляев были приглашены переехать в Сибирь (сначала они совершили пробную поездку, которая убедила их принять такое решение). Незадолго до этого как одно из основных научных учреждений начинающего свою жизнь Новосибирского научного Центра в нём открылся Институт ядерной физики. Как уже упоминалось, в его создании важную роль сыграл Игорь Васильевич Курчатов. По-видимому, это объяснялось его желанием дать реальный простор для практической реализации невероятной концентрации идей, генерируемых научным талантом Г.И. Будкера, который возглавил новый институт (ныне он носит его имя). С.Т. Беляев, В.М. Галицкий и Р.З. Сагдеев возглавили теоретические работы в ИЯФе. Главными направлениями исследований здесь стали первые коллайдеры (электронные и электрон-позитронные ускорители на встречных пучках вы-

сокой энергии) и новые конструкции для термоядерной плазмы.

Оглядываясь назад, могу оценить, как повезло мне тогда переехать в новосибирский Академгородок. В то время это было царство научной молодёжи. Радость свободной мысли, юные лица сверстников-энтузиастов, счастье думать, изобретать и высказываться — всё это в самом деле было, как ни трудно поверить сейчас, да и мало уже осталось свидетелей тех уникальных лет...

Галицкий, Беляев и Сагдеев создали в ИЯФе очень сильный теоретический отдел; несколько молодых тогда физиков впоследствии стали академиками и членами-корреспондентами Академии наук. После того как спустя несколько лет Галицкий вернулся в Москву, С.Т. возглавил теоретический отдел. Пересекающиеся научные интересы, общая молодость и схожесть жизненных установок способствовали поддержанию особой, незабываемой атмосферы работы и дружеских контактов. Этому в большой степени способствовал характерный стиль С.Т. — внимание к каждому, одобрение и поддержка в сочетании с открытой, иногда даже немного насмешливой, но не обидной критикой идей и индивидуальных результатов.

Конечно, такая обстановка на верхнем этаже ияфовского здания (весь этаж был занят теоретиками) могла установиться и долго сохраняться только в условиях того стиля общей “неупорядоченной внутренней демократии”, который был создан Будкером как естественный образ жизни всего коллектива института и надолго пережил своего создателя. Институт управлялся советом, который собирался еженедельно в полдень по средам за большим круглым столом (он присутствует в нескольких кинофильмах как символ института) и обсуждал все проблемы, институтские, государственные и мировые, за чашкой кофе. В другие дни недели, в то же время и за тем же круглым столом, собирались проблемные советы второго уровня по отдельным направлениям (их обсуждение велось в том же стиле и с тем же кофе). Дискуссии бывали очень жаркими, Будкеру могли возражать, иногда даже не слишком вежливо. Он не обижался, хотя бывал явно огорчён, если его идеи не принимались.

С.Т. чувствовал себя совершенно естественно в этих условиях — ему, видимо, вполне импонировал такой стиль жизни. Он играл важную роль в регулярных дискуссиях и научных оценках экспериментальной программы института и появлявшихся новых физических результатах. Со своим долготлетним опытом работы с Будкером он воспринимал эту беспорядочную демократию как норму жизни в науке.

Вскоре Беляев был избран членом-корреспондентом Академии наук (1964), а ещё через не-

сколько лет (1968) — академиком и возглавил академический Совет по ядерной физике. Он остро почувствовал, что постоянно растущий вес его общественных обязанностей, не всегда очень осмысленных, не способствует его привычной научной продуктивности, хотя он старался найти как можно больше времени для собственной теоретической работы. Когда суббота ещё была рабочим днём, он, не отвлекаясь, усиленно работал по воскресеньям. Хорошо помню, как очень часто в воскресный день я приходил к нему домой и с раннего утра до позднего вечера с коротким обеденным перерывом мы, сидя напротив друг друга за большим рабочим столом, занимались параллельными вычислениями. Позже, когда в институте у меня появился собственный рабочий стол, Беляев, приходя утром, каждый раз задавал вопрос: “Что нового?” И часто слышал ответ: “Ничего...” Серьёзных последствий этот грустный ответ не имел, но, конечно, мне очень хотелось на следующее утро представить С.Т. что-то новое.

Жизнь Спартака Тимофеевича заметно изменилась, когда в 1965 г., несмотря на его сопротивление, его выбрали ректором молодого Новосибирского государственного университета (НГУ). Студенты того времени вспоминают его ректорство с теплотой и ностальгией (в интернете путешествуют фотографии, сделанные в День физика, где С.Т. успешно играет роль полноправного участника студенческого праздника). Беляев вложил много сил в развитие университета, что способствовало росту международного авторитета НГУ.

Новосибирский университет отбирал одарённую молодёжь отовсюду восточнее Урала и даже из европейской части страны, обучал, воспитывал и вовлекал в передовую науку. Рядом и в тесном контакте с университетом начала работать физико-математическая школа, имевшая продвинутую программу по многим направлениям, включая биологию. Многие “физматшкольники” приглашались по результатам олимпиад, проводившихся ежегодно в Сибири и на Дальнем Востоке. Сегодня питомцы НГУ и физматшколы, ставшие настоящими учёными, успешно работают в России и во многих крупных мировых центрах. Во всех международных обзорах, посвящённых сравнению и градации университетов разных стран, Новосибирский университет занимает высокое место, наряду с Московским и Санкт-Петербургскими университетами (а иногда и выше). Две основных компоненты этого успеха — тесное взаимодействие НГУ с академическими институтами как естественной базой приобщения студентов к живой науке и разработка актуальных учебных программ, включая (уже в то время) использование вычислительной техники, зачастую собственного изготовления, — в большой степени заслуга Беляева и энтузиастов-преподавателей,



На студенческом карнавале в Новосибирском государственном университете. 1967 г. Фото из архива СО РАН

в основном сотрудников академических институтов.

Конечно, университет отнимал массу времени от творческой работы. С прискорбием должен сознаться, что однажды я обидел С.Т., сказав об этом вслух и, по-видимому, в неподходящий момент. Дело было в октябре 1973 г., за столом, собравшимся отметить пятидесятилетие Спартака Тимофеевича. Каким-то образом мне в руки попал его довоенный школьный дневник. В качестве поздравления я прочитал запись его школьной учительницы, что-то вроде “опять занимался на уроке посторонними делами”, с явным намёком на продолжение нездоровой традиции. Между тем С.Т. предпринимал героические усилия, чтобы найти время и силы для продолжения научного творчества, которое считал для себя главным в жизни.

Несмотря на загруженность административными делами, ему в значительной степени удавалось продолжать теоретическую работу. Новый советский научный журнал “Ядерная физика” открыл свой первый номер статьёй Беляева о коллективных эффектах в ядрах [9]. С.Т. более подробно рассказал о деталях теории в лекциях, прочитанных в школе Международного агентства по атомной энергии. На английском языке выходит его небольшая, но очень богатая идеями и результатами книга “Коллективные возбуждения ядер”, оставшаяся, к сожалению, малоизвестной и недооценённой [10]. Мне повезло ещё поработать с ним в эти годы, в частности, удалось найти способ показать, как вращение ядер можно анализировать в виде их внутреннего возбуждения, без использования внешней крутящей силы (так

называемая процедура cranking). Последней нашей серьёзной совместной публикацией была большая статья в журнале “Успехи физических наук” (1985), посвящённая столетию со дня рождения Нильса Бора [11]. Мы писали о его роли в плодотворном развитии физики атомного ядра (эта статья включена в упомянутую ранее книгу С.Т.).

Особо надо упомянуть небольшую совместную работу С.Т. Беляева, Г.И. Будкера и С.Г. Попова о возможности и перспективах использования накопительных колец с тонкими внутренними мишенями [12]. В конце восьмидесятых годов в Институте ядерной физики группа молодых энтузиастов действительно построила такую установку. Электронное накопительное кольцо пронизывается пучком изучаемых ядер; регистрируются продукты их взаимодействия. Веские аргументы С.Т. в защиту этой идеи помогли её реализации. Уже первые эксперименты принесли интересные результаты: например, наблюдался уникальный процесс деления электронами ядра кислорода на четыре альфа-частицы (ядра гелия). Наличие такой кластерной структуры в ядрах углерода и кислорода (вероятно, и в более тяжёлых ядрах) очень важно для процессов нуклеосинтеза в астрофизике.

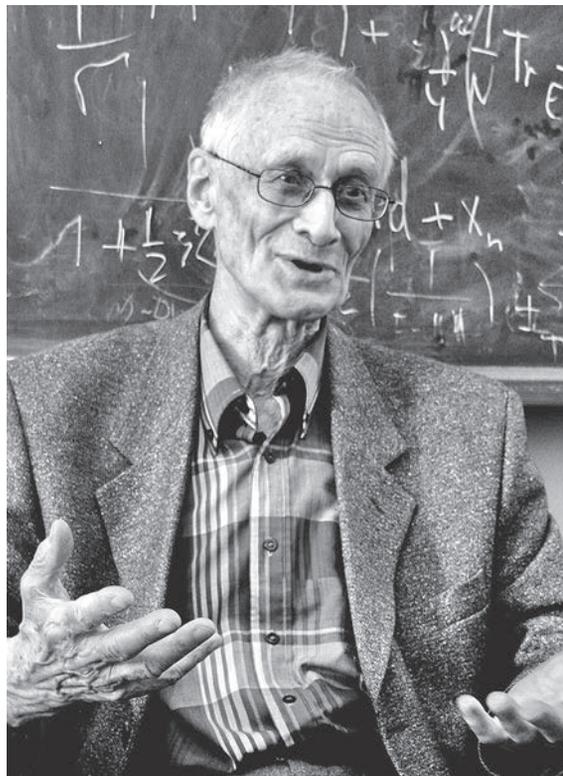
С открытием страны начались регулярные рабочие контакты со многими иностранными лабораториями. В частности, группа Роя Холта из Аргоннской национальной лаборатории Министерства энергетики США принимала активное участие в экспериментах на этом накопительном кольце, изучались тонкие эффекты структуры легчайшего ядра – дейтрона (протон + нейтрон)

как мостика между ядерной физикой и физикой элементарных частиц. К сожалению, Станислав Попов рано, в 1996 г., ушёл из жизни, а этой установки уже нет, её аналогов пока нет и в других странах.

После 16 лет пребывания в Сибири Беляев вернулся в Москву. Казалось, что здесь ему удастся избежать большого количества административных и преподавательских обязанностей. Но постепенно они добавлялись и теснили одна другую. Нельзя сказать, что все эти обязанности были посторонними. На самом деле, многие из них были следствием постоянного глубокого интереса С.Т. к разнообразным аспектам физики как наиболее общей и со временем расширяющейся, в первую очередь экспериментальной, науки о природе. Его живое участие в предварительных дискуссиях и обсуждении экспериментальных результатов всегда было деловым и вполне конкретным. Поскольку новосибирские физики играли главную роль в работах Курчатовского института и его дочерних структур по источникам синхротронного излучения и их многообразным применениям в физике, технике и биологии, для С.Т. было естественным после переезда в Москву принять в этой деятельности самое активное и иногда решающее участие.

Беляев стал директором большого подразделения Курчатовского института – входившего в его структуру Института общей и ядерной физики, возглавил кафедру в своём родном МФТИ и продолжал возглавлять Совет по ядерной физике Академии наук. Его обширный научный горизонт продолжал обогащаться и расширяться, включая, например, новые проблемы взаимодействия ультрахолодных нейтронов с конденсированными средами. Совместно с А.Л. Барабановым была создана последовательная теория таких взаимодействий [13].

Беляеву пришлось иметь дело с последствиями Чернобыльской катастрофы 1986 г., он возглавил специальную комиссию Академии наук по оценке этих последствий и неоднократно посещал пострадавшие территории. Позже он говорил, что в таких чрезвычайных обстоятельствах фундаментальная наука, навыки исследователя, а не инженера, могут оказаться важнее, чем специальный опыт и конкретные знания. Обсуждая различные аспекты сурового опыта, накопленного после Чернобыля, С.Т. сделал ряд критических выводов: важность непрерывного мониторинга не только радиационной ситуации, но и социальных процессов в различных группах населения; необходимость полной, надёжной и своевременной информации, доступной для разных групп населения; везде, где возможно, административные меры и ограничения должны отвергаться в пользу решений, сознательно принятых населением



На конференции в Новосибирске. 2008

и сопровождаемых мерами социальной защиты. Его текст в трудах симпозиума, посвящённого стратегиям восстановления заражённых территорий (Брюссель, 2000) завершается словами: “Будем надеяться, что уроки Чернобыля будут выучены мировым сообществом (включая мою страну)” [14].

Особо следует сказать об экспериментах международных коллабораций с активным участием физиков Курчатовского института во главе с Беляевым по двойному бета-распаду и природе нейтрино [15]. Последний эксперимент в ущелье Гран-Сассо (Италия) назывался GERDA (Germanium Detector Array) и состоял в поиске безнейтринного двойного бета-распада ядра германия-76. Речь идёт о поиске события самопроизвольного распада ядра германия (32 протона и 44 нейтрона) в ядро селена (34 протона и 42 нейтрона). В обычном (одинарном) бета-распаде нейтрон превращается в протон, электрон и электронное антинейтрино. Именно такой процесс определяет время жизни свободного нейтрона (примерно 15 мин, хотя здесь тоже есть свои загадки). В ряде случаев одинарный бета-процесс невозможен из-за энергии спаривания – вспомним, что именно С.Т. стоял у истоков теории парных корреляций в ядрах. Зато двойной распад между чётно-чётными ядрами, с рождением двух нейтрино, может быть энергетически разрешённым. Особый инте-

рес к гипотетическому безнейтринному распаду связан с тем, что здесь два промежуточных нейтрино, отсутствующие в конце процесса, как бы взаимно уничтожаются. Такая возможность могла быть реализована в случае тождественности нейтрино и антинейтрино (так называемые частицы Майораны). Природа нейтрино и их до сих пор точно не известная масса (меньше одного электрон-вольта) важны для стандартной модели элементарных частиц и понимания астрофизических процессов, включая зарядовую асимметрию Вселенной.

Уже после ухода Беляева из жизни были опубликованы предварительные результаты последнего этапа эксперимента GERDA (его имя сохранено в длинном списке соавторов) [16]. Чувствительность аппаратуры к тому времени выросла на порядок величины по сравнению с предыдущим, но безнейтринный распад не был обнаружен. Утверждается, что, если такой процесс возможен, соответствующий период полураспада составляет более 10^{26} лет. Новая коллаборация LEGEND готовит эксперименты следующего поколения.

С.Т. всегда рассматривал физику как экспериментальную науку. Отсюда его постоянный интерес к новым методам и реальное участие в их развитии (источник поляризованных ядер, встречные пучки и сверхтонкая ядерная мишень в накопительном кольце, синхротронное излучение, эксперименты по двойному бета-распаду, природе нейтрино и тёмной материи, активное обсуждение результатов коллаборации ФЕНИКС (ускоритель РНКС в Брукхевене) по столкновению ядер при сверхвысокой энергии и многое другое). Большая международная конференция в Филадельфии (1994) в честь семидесятилетия С.Т. называлась “The Harmony of Physics”; и действительно, для него наука всегда была единым и гармоничным целым (труды этой конференции составили отдельный том журнала “Physics Reports”).

Можно перечислить тематику публикаций Беляева в последние годы работы в Курчатовском институте (помимо продолжения его коронной физики коллективных явлений в атомных ядрах, поиска безнейтринного бета-распада, Чернобыльской эпопеи и создания Курчатовского источника синхротронного излучения). Как уже сказано выше, совместно с А.Л. Барабановым была создана теория поведения ультрахолодных нейтронов (ядерные частицы, в пределе очень низкой энергии проявляющие типичные длинноволновые свойства во взаимодействии со стенками сосуда). Много сил было потрачено на попытки объяснить результаты тонких экспериментов замечательного физика Ю.Л. Соколова с простейшей квантовой системой – атомом водорода. Эта работа прервалась с уходом из жизни

Юрия Лукича и, насколько я знаю, загадки остались. Интересные работы по физике жидкостей были проведены с Ю.К. Красновым. Наконец, С.Т. проявлял большой интерес к совсем новой области знания – искусственному интеллекту и нейронным сетям.

Когда в 2004 г. Беляев и Горьков совместно были награждены медалью Юджина Финберга, текст этого решения заканчивался словами о том, что их работы фактически изменили физику многочастичных систем. Мне выпала честь на конференции в Санта-Фе представлять Беляева. (Дэвид Пайнс представлял Горькова.) Вспоминаю, как в тот день мы гуляли по городу с его изобилием книжных лавок, одна из которых принадлежит далёкому потомку А.С. Пушкина.

После конференции и вручения медали Спартак Тимофеевич на неделю приехал в наш городок Ист Лансинг, где жизнь в основном определяется одним из самых крупных американских университетов, Michigan State University, MSU, с его пятьюдесятью тысячами студентов. Наш университет – центр ядерных исследований, сейчас здесь запущен крупнейший ускоритель тяжёлых ионов FRIB (Facility for Rare Isotope Beams), где можно ускорять практически любые ядра, от протона до урана, до энергии 200 МэВ на нуклон, с перспективой увеличения энергии в будущем. В то время работали предшественники FRIB – связанные циклотроны. С.Т. с искренним интересом знакомился с людьми, с конкретными экспериментами, с криогенной техникой, с компьютерными методами обработки результатов, с теоретическими исследованиями, программами обучения студентов.

Когда мы повезли С.Т. в субботу из его гостиницы в местный аэропорт, выяснилось, что его рейс перенесён на сутки. Нам повезло: вместо возвращения в гостиницу мы приехали к нам домой и были вознаграждены целым летним днём прекрасного тёплого общения. С.Т. даже потребовал косилку и поработал на газоне вокруг дома. Поехали на озеро Мичиган, где наш гость, вспоминая свои альпинистские походы, показывал, как правильно взбираться на дюны. Полный день воспоминаний и откровенных разговоров обо всём. За вечерним столом С.Т. впервые доверительно говорил о своих военных годах – долгом времени на краю гибели, о демобилизации, о начале студенческой жизни и о многом другом.

Последний раз мне посчастливилось общаться со Спартаком Тимофеевичем в 2008 г., на конференции в Новосибирске, посвящённой пятидесятилетию Института ядерной физики. За четыре года, прошедших со времени нашей встречи в Санта Фе и Мичигане, он почти не изменился и казалось, что старость не властна над ним [17]. Мы продолжали время от времени общаться по

электронной почте, по-прежнему обсуждали физику, и старые московские друзья уверяли, что С.Т. активен и не стареет. Тем большим ударом была неожиданная скорбная весть в январе 2017-го...

Спартак Тимофеевич Беляев был, вероятно, самым влиятельным человеком в моей жизни и, думаю, не только в моей. Это влияние шло от его собственного примера — интеллекта и честности. Его неуклонным правилом всегда были добросовестная работа и выполнение своего долга. Недавно он часто вспоминал Тютчева:

Нам не дано предугадать,
Как слово наше отзовется...

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляев С.Т.* Моя профессия — теоретическая физика. М.: НИЦ “Курчатовский институт”, 2013.
2. *Беляев С.Т., Будкер Г.И.* Релятивистская плазма в переменных полях // Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций. Т. 2. С. 283–329. М.: Изд. АН СССР, 1958.
3. *Беляев С.Т.* Применение методов квантовой теории поля к системе Бозе-частиц // ЖЭТФ. 1958. Т. 34. С. 417–432.
4. *Беляев С.Т.* Энергетический спектр неидеального Бозе-газа // ЖЭТФ. 1958. Т. 34. С. 433–446.
5. *Belyaev S.T.* Many-body physics and spontaneous symmetry breaking // Recent progress in many-body theories. World Scientific Publishing, 2006. P. 13–24.
6. *Belyaev S.T.* The Lessons of Niels Bohr // Impact of Science on Society. 1985. № 137. P. 39–49; *Беляев С.Т.* Уроки Нильса Бора // Импакт. 1986. № 1. С. 40–50.
7. *Mayer M.G., Jensen J.H.D.* Elementary Theory of Nuclear Shell Structure. New York, Wiley — London, Chapman and Hall, 1955; *Майер М.Г., Иенсен И.Г.Д.* Элементарная теория ядерных оболочек. М.: Изд-во иностранной литературы, 1958.
8. *Belyaev S.T.* Effect of pairing correlations on nuclear properties // Mat. Fys. Medd. Dansk. Vid. Selsk. 1959. V. 31. № 11.
9. *Беляев С.Т.* Нуклон-фононный гамильтониан для сферических ядер // Ядерная физика. 1965. Т. 1. С. 3–12.
10. *Belyaev S.T.* Collective Excitations in Nuclei. In: Series “Documents on Modern Physics”. N.Y.: Gordon and Breach, Science Publishers, 1968.
11. *Беляев С.Т., Зелевинский В.Г.* Нильс Бор и физика атомного ядра // УФН. 1985. Т. 147. С. 210–251.
12. *Belyaev S.T., Budker G.I., Popov S.G.* The possibility of using storage rings with internal thin targets // High Energy Physics and Nuclear Structure. N.Y.: Plenum Press, 1970.
13. *Barabanov A.L., Belyaev S.T.* Bulk effects in the coherent inelastic scattering of ultracold neutrons // European Physical Journal A. 2006. V. 27. P. 105–127.
14. *Belyaev S.T.* Decision process foiled by the USSR up to 1991 and analysis of the main restoration activities // Nuclear safety and environment, DG Environment of the European Commission. Brussels, 2000.
15. *Klapdor-Kleingrothaus H.V., Belyaev S.T. et al.* Latest results from the Heidelberg-Moscow double beta decay experiment // European Physical Journal A. 2001. V. 12. P. 147–154.
16. *Biancacci V. and GERDA collaboration.* The GERDA experiment in the search for neutrinoless double-beta decay // Moscow University Physics Bulletin. 2022. V. 77. P. 359–362.
17. *Беляев С.Т.* Что стимулирует развитие теоретической физики. Доклад лауреата Большой золотой медали имени М.В. Ломоносова 2010 года // Вестник РАН. 2011. № 10. С. 900–907.

“MY PROFESSION – THEORETICAL PHYSICS” TO THE HUNDREDTH ANNIVERSARY OF ACADEMICIAN S.T. BELYAEV

V. G. Zelevinsky^{1,#}

¹Michigan State University, East Lansing, Michigan, USA

[#]E-mail: zelevins@frib.msu.edu

The article based mainly on personal reminiscences of the author presents the landmarks of the biography of Spartak Timofeevich Belyaev (1923–2017), features of his exceptional personality and his scientific achievements as the outstanding theoretical physicist known by his fundamental works on quantum many-body theory and nuclear physics. After graduation from high school in 1941, he went through the entire war in the ranks of the army. After graduation from the Moscow Physical-Technical Institute, he worked at the Atomic Energy Institute and then in the Novosibirsk Institute of Nuclear Physics (now Budker Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences). From 1965 to 1978 he served as Rector of the Novosibirsk State University. After returning to Moscow and to the end of his life, he worked at the theory department of the Kurchatov Institute. In 1968 he was elected a full member of the Russian Academy of Sciences. His scientific achievements were highly appraised by many Russian and international prizes including the Great Gold Lomonosov Medal of Russian Academy of Sciences.

Keywords: S.T. Belyaev, nuclear physics, many-body quantum theory, Bose condensate, pairing correlations, Novosibirsk State University, Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Kurchatov Atomic Energy Institute.