

СОДЕРЖАНИЕ

Том 91, номер 2, 2021

Наука и общество

Б. Н. Порфирьев, Д. О. Елисеев, Д. А. Стрелецкий

Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты для жилищного сектора российской Арктики 105

Точка зрения

В. А. Румянцев, А. В. Измайлова, А. С. Макаров

Состояние озёрного фонда Арктической зоны Российской Федерации 115

Д. И. Кондратов

Интернационализация валют в странах БРИКС 127

Обозрение

А. С. Цветков

Достижения космической астрометрии 142

В. Г. Варнавский

Глобальная транспортно-логистическая инфраструктура 157

Из рабочей тетради исследователя

А. Я. Зайцев, А. В. Манойло

Роль частных военных компаний в использовании технологии “облачного противника” 167

Этюды об учёных

М. Я. Маров

Лидер в космических исследованиях – не по положению, а по призванию
К 110-летию со дня рождения академика М.В. Келдыша 174

Н. Г. Афендикова

Руководитель работ по математическому моделированию в Атомном проекте
К 110-летию со дня рождения академика М.В. Келдыша 190

В мире книг

Рецензируется: А.В. Островский. Китай становится экономической сверхдержавой 195

Официальный отдел

Большая золотая медаль Российской академии наук имени М.В. Ломоносова 2020 года 199

Международная энергетическая премия “Глобальная энергия” 2020 года 201

CONTENTS

Vol. 91, No. 2, 2021

Science and Society

- B. N. Porfiriev, D. O. Eliseev, D. A. Streletsky*
Economic assessment of the consequences of permafrost degradation
for the housing sector of the Russian Arctic 105
-

Point of View

- V. A. Rumyantsev, A. V. Izmailova, A. S. Makarov*
State of the lake fund of the Arctic zone of the Russian Federation 115
- D. I. Kondratov*
Currency internationalization in the BRICS countries 127
-

Review

- A. S. Tsvetkov*
Achievements of space astrometry 142
- V. G. Varnavsky*
Global transport and logistics infrastructure 157
-

From the Researcher's Notebook

- A. Ya. Zaitsev, A. V. Manoilo*
The role of private military companies in use of the “cloud enemy” technology 167
-

Profiles

- M. Ya. Marov*
A leader in space research – not in position, but in mission
To the 110th anniversary of the birth of Academician M. V. Keldysh 174
- N. G. Afendikova*
Head of mathematical modeling in the nuclear project
To the 110th anniversary of the birth of Academician M. V. Keldysh 190
-

In the Book World

- Reviewed: A. V. Ostrovskiy. China becomes an economic superpower 195
-

Official Section

- Big Gold medal named after M. V. Lomonosov of the Russian Academy of Sciences 2020 195
- International energy prize “Global energy” 2020 201
-
-

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ДЕГРАДАЦИИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ДЛЯ ЖИЛИЩНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

© 2021 г. Б. Н. Порфирьев^{a,*}, Д. О. Елисеев^{b,c,**}, Д. А. Стрелецкий^{d,e,***}

^a Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва, Россия

^b Российский новый университет, Москва, Россия

^c Субтропический научный центр РАН, Сочи, Россия

^d Университет Джорджа Вашингтона, Вашингтон, Округ Колумбия, США

^e Институт криосферы земли Тюменского научного центра СО РАН, Тюмень, Россия

*E-mail: b_porfiriev@mail.ru

**E-mail: elisd@mail.ru

***E-mail: strelets@gwu.edu

Поступила в редакцию 01.09.2020 г.

После доработки 25.09.2020 г.

Принята к публикации 25.10.2020 г.

Статья посвящена методологии и анализу результатов экономической оценки и прогноза последствий глобальных климатических изменений в виде протаивания и деградации многолетнемёрзлых грунтов для жилищного сектора в восьми регионах российской Арктики. В качестве физико-географической базы оценки приняты изменения состояния многолетнемёрзлых грунтов при реализации самого негативного из вариантов прогноза Межправительственной группы экспертов по изменению климата (сценарий RCP 8.5) как наиболее соответствующего условиям российской Арктики. Показано, что при консервативном сценарии развития жилищного сектора в этом макрорегионе России в 2020–2050 гг. затраты на восстановление утраченного жилого фонда будут превышать 30 млрд руб. в среднем в год. При реализации модернизационного сценария затраты увеличатся до 36 млрд руб. в год. Максимальный ожидаемый ущерб прогнозируется в Ямало-Ненецком АО и Красноярском крае, минимальный – в Чукотском и Ханты-Мансийском АО.

Ключевые слова: российская Арктика, регионы, вечная мерзлота, изменение климата, протаивание, деградация, жилищный сектор, строительство, инвестиции, риски, сценарии развития.

DOI: 10.31857/S0869587321020067

Глобальные климатические изменения наиболее сильно проявляются на северных территориях России. За период 1980–2010 гг. среднегодовая

температура в арктическом макрорегионе страны выросла на 0.5–2.5°C [1]. Одно из важных социально-экономических последствий роста темпе-



ПОРФИРЬЕВ Борис Николаевич – академик РАН, научный руководитель Института народнохозяйственного прогнозирования РАН. ЕЛИСЕЕВ Дмитрий Олегович – кандидат экономических наук, начальник НИЦ РосНОУ, старший научный сотрудник ФИЦ СЦ РАН. СТРЕЛЕЦКИЙ Дмитрий Андреевич – PhD, профессор географического факультета Университета Джорджа Вашингтона (США).

ратуры – протаивание и деградация вечной мерзлоты, которая распространена на территории 28 субъектов Российской Федерации, охватывая почти две трети площади страны. Однако только в восьми регионах российского Севера – Республике Коми, Ненецком, Ямало-Ненецком, Ханты-Мансийском и Чукотском автономных округах, Красноярском и Магаданском краях и Республике Саха (Якутия) – вечная мерзлота занимает значительную часть хозяйственно освоенного пространства; в остальных регионах она представлена фрагментарно¹.

Протаивание и деградация вечной мерзлоты ведут к снижению несущей способности многолетнемерзлых грунтов [2–5], тем самым создавая серьёзные риски для устойчивости объектов промышленной и социальной инфраструктуры, зданий и сооружений, нормы строительства которых всегда учитывают климатические и физико-географические условия среды [6–9]. Рост температуры снижает несущую способность многолетнемерзлого грунта, а увеличение сезонно-талого слоя в сильнольдистых грунтах ведёт к неравномерным просадкам, что провоцирует деформации и влияет на устойчивость инженерных сооружений [10–12]. По оценкам, при увеличении среднегодовой температуры воздуха на 2°C несущая способность свай фундамента снижается вдвое, что влечёт за собой угрозу надёжности и устойчивости строительных конструкций и инженерных сооружений. Уже в настоящее время фиксируются многочисленные, причём значительные, изменения прочности зданий практически во всех северных регионах страны. Только в Норильске за последние годы пришлось снести более 300 домов из-за деформации их строительных конструкций [13, с. 154, 173].

Специфика проблемы устойчивости основных фондов в различных секторах и сферах экономики российской Арктики к последствиям протаивания и деградации вечной мерзлоты требует специального анализа и оценки. Ряд из них, предложенных авторами, позволил получить оценку ожидаемого ущерба от деградации вечной мерзлоты для основных фондов и автодорожной инфраструктуры в вышеупомянутых восьми регио-

нах российского Севера [14, 15]. В данной статье предпринята попытка дать аналогичную оценку применительно к жилищному сектору, учитывая его повышенную уязвимость к эффектам протаивания и деградации многолетнемерзлых грунтов и особую значимость для экономики.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖИЛОГО ФОНДА В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

Социально-экономическое развитие российской Арктики исторически базировалось на строительстве крупных населённых пунктов, в которых концентрировались людские ресурсы и создавались промышленные объекты. В советский период на вечной мерзлоте возникли крупные северные города – Норильск, Воркута, Нарьян-Мар, Магадан, Надым, Ноябрьск, Новый Уренгой. Это принципиально отличает российский север от других арктических регионов мира, в которых крупные города в зоне многолетней мерзлоты никогда не строились [16].

В настоящее время в рассматриваемых регионах российской Арктики (за исключением Чукотского АО и Якутии) около 80% жителей проживает в населённых пунктах городского типа, что на 5% превышает среднероссийский уровень урбанизации. Всего на этих территориях насчитывается 62 города с общим населением около 7.5 млн человек. Общая площадь жилого фонда в 2018 г. составила здесь 170 млн м², или 4.7% общей площади жилых помещений в России (табл. 1).

Высокий уровень урбанизации определяет специфику функционирования и развития жилищного сектора рассматриваемых регионов. Она связана со значительной долей жилых домов многоквартирного типа, централизованной структурой организации и управления жилищно-коммунальным хозяйством и системой социального обеспечения. Кроме того, в жилищном секторе относительно высок удельный вес аварийного и ветхого жилья, который к тому же имеет тенденцию к увеличению. В то же время обеспеченность населения жильём здесь ниже, чем в среднем по России, что подразумевает необходимость ускоренного наращивания объёмов строительных работ. Перечисленные факторы необходимо учитывать при комплексном анализе рисков и последствий деградации вечной мерзлоты и оценки обусловленного ими ожидаемого ущерба для жилого фонда регионов российской Арктики.

¹ По методологии Международной ассоциации мерзлотоведения, по площади распространения выделяются следующие типы вечной мерзлоты: сплошная (90–100% охвата территории), прерывистая (50–90%), массивно-островная (10–50%), спорадическая или островная (менее 10% охвата территории); по льдистости пород – высокая, средняя и низкая. Так, в Мурманской области, на среднем Урале (Пермский край, Свердловская область), в Южной части Сибири (Иркутская область, Алтайский край, Республика Тыва, Кемеровская область) и Дальнего Востока (Амурская область, Сахалинская область) вечная мерзлота, как правило, расположена либо в горных труднодоступных районах, либо представлена очаговыми проявлениями, то есть не несёт значимого риска для хозяйственной деятельности.

Таблица 1. Население и жилой фонд Российской Федерации и регионов российской Арктики в 2018 г.

Регион	Население, тыс. чел.	Доля городского населения, %	Жилой фонд			
			Всего, млн м ²	В расчёте на одного жителя, м ²	Аварийный и ветхий, млн м ²	Себестоимость строительства 1 м ² жилья, тыс. руб.
Республика Коми	840.87	78.1	24	27.9	0.39	38 785
Ненецкий АО	43.99	72.8	1	25.0	0.05	65 695
Ханты-Мансийский АО	1655.07	92.3	35	20.8	0.65	53 016
Ямало-Ненецкий АО	538.54	83.8	11	20.7	0.76	65 859
Красноярский край	2876	77.4	72	24.6	0.71	45 603
Республика Саха (Якутия)	964.33	65.6	22	22.1	1.58	61 490
Магаданская область	144.1	95.9	4	30.1	0.06	72 061
Чукотский АО	49.34	70.5	1	24.1	0.01	113 911
ИТОГО по регионам	7427.74	79.4	170	24.5	4.31	68 009
Российская Федерация	146 880	74	3780	25.8	25.95	41 358

Источник: расчёты авторов и данные Росстата.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ РИСКОВ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ ЖИЛИЩНОГО СЕКТОРА

Экономическая оценка последствий протаивания и деградации вечной мерзлоты с точки зрения состояния жилищного сектора базируется на двух хозяйственных показателях – общем размере жилого фонда исследуемых регионов и фактической себестоимости строительства жилья в каждом регионе. Использование показателя фактической или текущей себестоимости строительства, а не кадастровой или рыночной оценки соответствующих объектов обусловлено тем, что в настоящее время база данных по кадастровой оценке ещё не до конца сформирована и не соответствует фактическому количеству жилых помещений в том или ином регионе. Кроме того, кадастровый учёт стоимости жилых объектов ведётся в основном для целей налогообложения, и их цена может сильно отличаться (как правило, в сторону увеличения) от реальной стоимости жилья. Оправданность рыночной оценки жилья также сомнительна, поскольку включает не только стоимость строительных работ, но также прибыль строительных организаций и иные расходы.

На первом этапе оценки необходимо определить общий размер жилого фонда, построенного в зоне вечной мерзлоты. Государственная статистическая информация по количеству жилых по-

мещений, сооружённых на многолетнемёрзлых грунтах, отсутствует; поэтому для расчётов использовалась ранее апробированная методология оценки, основанная на данных Международной ассоциации мерзлотоведения (МАМ). Согласно этой методологии принимается, что в зоне сплошной вечной мерзлоты доля жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах, достигает 90%; аналогичный показатель в зонах прерывистой, массивно-островной и спорадической (островной) вечной мерзлоты составляет 50%, 10% и 0% соответственно. В общем виде формула расчёта для конкретного региона выглядит следующим образом:

$$H_i = 0.9H_{ci} + 0.5H_{si} + 0.1H_{fi}, \quad (1)$$

где H_i – общая площадь жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах в i -м регионе; H_{ci} – площадь жилого фонда, построенного в зоне сплошной мерзлоты в i -м регионе; H_{si} – площадь жилого фонда, построенного в зоне прерывистой мерзлоты в i -м регионе; H_{fi} – площадь жилого фонда, построенного в зоне массивно-островной мерзлоты в i -м регионе; i – порядковый номер региона.

Для стоимостной оценки жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах рассматриваемых восьми регионов российской Арктики, использовались данные Росстата по текущей себестоимости строительства жилых помещений в региональном разрезе (см. табл. 1). Оценка стои-

мости жилого фонда осуществлялась на основе преобразованной формулы (1):

$$E_i = \sum_{i=1}^8 H_i * C_i, \quad (2)$$

где E_i – общая себестоимость жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах в i -м регионе; H_i – площадь жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах в i -м регионе; C_i – себестоимость строительства 1 м² жилья в i -м регионе; i – порядковый номер региона.

На заключительном этапе определялся ожидаемый ущерб от протаивания и деградации вечной мерзлоты для жилого фонда исследуемых регионов на период до 2050 г. Принимаются во внимание следующие существенные допущения. Поскольку плановые (программные) документы по развитию жилого фонда и жилищного строительства носят среднесрочный характер, в сценарных расчётах принимается во внимание общая площадь жилого фонда с учётом текущих планов его развития в среднесрочной перспективе на 2019–2025 гг. В оценках ожидаемого ущерба в интервале 2025–2050 гг. принимается допущение о неизменности общей площади жилого фонда.

Отсутствие официальных долгосрочных прогнозов численности постоянно проживающего в исследуемых регионах населения крайне затрудняет оценку долгосрочных потребностей в жилом фонде. Более того, имеется существенная неопределённость в перспективных оценках численности населения России в целом: так, согласно одному из сценариев прогноза Росстата до 2035 г., она может сократиться на 680 тыс. человек, согласно другому сценарию – увеличиться на 500 тыс. [17], причём на 90% – за счёт миграции, величина которой сильно варьируется в зависимости от целого ряда экономических факторов и политических решений. Учитывая такую неопределённость, за основу принимается, что численность населения регионов будет условно постоянной на горизонте до 2050 г.

В расчётах ущерба также не принимаются во внимание факторы спроса/предложения жилья, уровня жизни населения, динамики заработной платы, уровня банковских ставок, ипотечного кредитования, которые оказывают существенное влияние на формирование платёжеспособного спроса населения и на объёмы строительства жилья, но которые отсутствуют в долгосрочных прогнозах (на 10–20 лет) и в большей степени определяются экономическим развитием страны в целом, а не климатическими обстоятельствами.

Ещё одно важное допущение связано с невозможностью оценки фактических темпов и масштабов выбытия жилого фонда, которые очень вариативны. Так, в 2005 г. жилой фонд сократился на 35.6 млн м², в 2017 г. – на 15.7 млн. Темпы

выбытия зависят от многих факторов, которые включают не только состояние жилья, признаваемого аварийным или ветхим, но и юридические процедуры такого признания и оформления процесса выбытия, из-за чего жильё, признанное аварийным и подлежащим сносу, может оставаться в этом статусе многие годы.

С учётом перечисленных допущений величина совокупного доступного жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах в рассматриваемых восьми регионах российской Арктики в долгосрочный период (2020–2050 гг.), может быть рассчитана по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^8 H_i = \left[\sum_{i=1}^8 (H_{bi} + H_{ki} - H_{di}) \right] \times 30, \quad (3)$$

где H – площадь совокупного доступного жилого фонда; H_{bi} – площадь жилого фонда в i -м регионе на базовый год расчётов (2020 г.); H_{ki} – площадь ежегодного строительства нового жилья в i -м регионе в прогнозный период; H_{di} – площадь ежегодного выбытия жилого фонда (ветхого и аварийного жилья) в i -м регионе в прогнозный период; i – порядковый номер региона.

При этом общая площадь жилых помещений в базовом 2020 г. (H_b) определена на основе данных Росстата за 2018 г.; площадь выбывающих жилых помещений (H_d) в 2020–2050 гг. в годовом выражении – на основе ретроспективных данных о среднегодовых темпах выбытия за 2008–2018 гг.; площади ежегодного строительства нового жилья в прогнозный период (H_k) – исходя из конкретного сценария из принятых двух сценариев развития жилого фонда в 2020–2050 гг. – консервативного (инерционного) и модернизационного.

Консервативный сценарий предусматривает сохранение в течение всего прогнозного периода значений среднегодовых темпов строительства и выбытия жилья, характерных для периода 2008–2018 гг. При этом темпы ежегодного строительства в семи из восьми регионов предполагаются равными и соответствующими среднему региональному значению за указанный ретроспективный период. В Республике Коми и Чукотском АО, учитывая, что согласно официальным статистическим данным темпы выбытия жилого фонда существенно опережают темпы строительства², предполагается, что ежегодные объёмы вводимого в строй жилья равны объёмам его выбытия.

За основу *модернизационного сценария* принят национальный проект “Жильё и городская среда” на 2018–2024 гг., показатели жилищного строительства которого предусматривают ввод на всей

² Авторы предполагают, что данное обстоятельство скорее всего связано с несовершенством статистического учёта жилого фонда на муниципальном уровне.

Таблица 2. Прогноз динамики роста площади жилого фонда регионов российской Арктики на период до 2050 г., % к базовому 2018 г.

Регионы	Прогнозный сценарий	
	консервативный	модернизационный
Республика Коми	100.00	107.03
Ненецкий АО	159.28	210.82
Ханты-Мансийский АО	119.96	133.31
Ямало-Ненецкий АО	138.96	174.86
Красноярский край	106.96	116.55
Республика Саха (Якутия)	151.95	177.58
Магаданская область	110.77	125.49
Чукотский АО	100.00	150.00

Источник: расчёты авторов.

территории России до 120 млн м² к 2025 г., что в полтора раза превышает текущий уровень [18]. Исходя из этого рассчитаны среднегодовые темпы роста и объёмы жилищного строительства в рассматриваемых регионах российской Арктики в период до 2050 г. (табл. 2).

Для оценки влияния на устойчивость зданий жилого фонда, построенных на многолетнемёрзлых грунтах в период до 2050 г., последствий увеличения протаивания и деградации вечной мерзлоты использовались шесть глобальных моделей изменения климата³, которые применялись Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) при подготовке V Оценочного доклада по изменениям климата на период до середины XXI в. Эти глобальные модели позволяют с высокой достоверностью прогнозировать приземную температуру воздуха в северных регионах России [19].

За основу расчётов на базе этих моделей был принят наиболее жёсткий сценарий глобальных климатических изменений RCP8.5. По мнению авторов и ряда других экспертов, он наилучшим образом отражает динамику масштабных изменений климата в северных регионах России, позволяя получить оценку максимальных рисков (ожидаемого ущерба). При этом прогноз исходит из предположения о постепенном росте температуры приземного воздуха, под влиянием которого деградация многолетнемёрзлых грунтов будет происходить тоже постепенно. Кроме того, принимается как факт, что обусловленное этими процессами снижение устойчивости жилых зданий и связанный с ним ожидаемый экономиче-

ский ущерб будут распределяться равномерно в течение ближайших 30 лет.

Для оценки снижения несущей способности грунтов использовались данные, которые получены в результате ранее проведённого авторами исследования с применением геотехнических моделей изменений многолетнемёрзлых пород [15, 20] и которые далее учитывались в оценке рисков уменьшения устойчивости жилого фонда и ожидаемого экономического ущерба в исследуемых регионах в трёх вариантах: минимальные, средние и максимальные [15, fig. 3].

ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОГО УЩЕРБА ДЛЯ ЖИЛОГО ФОНДА РОССИЙСКИХ РЕГИОНОВ ОТ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ

В соответствии с предложенной методологией оценим общий размер жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах, и его стоимость. Согласно данным Росстата, в 2018 г. общая площадь жилья в рассматриваемых регионах составила 169.96 млн м². В официальной государственной статистике фактические данные о балансовой стоимости жилья отсутствуют, поэтому стоимостная оценка проводилась на основе данных о себестоимости строительства 1 м² жилой площади в регионе. Общая текущая стоимость жилых помещений в 2018 г. составила 8.5 трлн руб. По нашим расчётам, на вечной мерзлоте построено 20.6 млн м² жилого фонда регионов общей стоимостью 4.1 трлн руб. (табл. 3).

На многолетнемёрзлых грунтах региональный жилой фонд практически полностью построен в Ненецком, Ямало-Ненецком, Чукотском автономных округах, Республике Саха (Якутия), Мага-

³ В их числе: CanESM2, CSIRO-Mk3-6-0, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, IPSLCM5A-LR и NorESM1-M.

Таблица 3. Жилой фонд исследуемых регионов, 2018 г.

Регион	Общая площадь жилья в регионах (тыс. м ²)	Стоимость жилого фонда (млрд руб.)	Общая площадь жилья на вечной мерзлоте (тыс. м ²)	Стоимость жилого фонда на вечной мерзлоте (млрд руб.)
Республика Коми	24 452.00	989.06	8036.60	331.20
Ненецкий АО	1128.50	77.97	1128.50	77.97
Ханты-Мансийский АО	35187.00	1724.45	15183.60	748.10
Ямало-Ненецкий АО	10089.50	651.20	10089.50	651.20
Красноярский край	72210.00	3279.82	12492.30	569.06
Республика Саха (Якутия)	21568.90	1345.49	21568.90	1345.49
Магаданская область	4178.80	301.12	4187.80	301.12
Чукотский АО	1154.80	51.08	1154.80	51.08
ИТОГО	169969.50	8420.19	73842.00	4075.22

Источник: расчёты авторов по данным Росстата.

данской области. В Республике Коми, Красноярском крае, Ханты-Мансийском АО на многолетнемёрзлых грунтах построена только часть жилья в нескольких муниципальных образованиях⁴. Из расчётов исключён Камчатский край, который хотя и расположен в зоне вечной мерзлоты, однако геотехнические данные показывают отсутствие возможного ущерба для жилых зданий на этой территории.

В соответствии с принятой методологией рассмотрим перечисленные ранее сценарии влияния протаивания и деградации многолетнемёрзлых грунтов на устойчивость построенного на них жилья и дадим прогнозные оценки затрат на снижение риска (ожидаемого ущерба) на период до 2050 г. В итоговом виде они представлены в таблице 4.

При реализации *консервативного сценария* общая площадь жилого фонда в рассматриваемых регионах за 30 лет увеличится на 21.8 млн м² и составит 103.66 млн м²; общая стоимость этого фонда в ценах 2018 г. — около 4.8 трлн руб. Ожидаемый ущерб для жилищного сектора от деградации вечной мерзлоты за период 2020–2050 гг. оценивается в интервале от 420 млрд руб. до 2.5 трлн руб. в зависимости от увеличения глубины протаивания и температуры многолетнемёрзлых грунтов. Средняя величина ущерба, как предполагается, достигнет 907 млрд руб. (18.8% общей стоимости жилья, построенного на многолетнемёрзлых грунтах). Для смягчения последствий деградации

вечной мерзлоты необходимо ежегодно тратить более 30 млрд руб., что эквивалентно 0.25% ВРП в ценах 2018 г. При максимальных глубине протаивания и температуре многолетнемёрзлых грунтов затраты на поддержание жилого фонда увеличатся более чем втрое — до 95 млрд руб. ежегодно (почти 1% ВРП в ценах 2018 г.).

Наибольший ущерб за весь прогнозный период понесёт Ямало-Ненецкий АО — 416.5 млрд руб., что в первую очередь обусловлено динамикой деградации вечной мерзлоты в этом регионе. Наименьшая величина ущерба — 753.1 млн руб. — прогнозируется в Чукотском АО, что связано с относительной (по сравнению с другими территориями) ограниченностью как площади жилого фонда, так и масштабов изменений, влияющих на устойчивость зданий. При максимальных глубине протаивания и температуре многолетнемёрзлых грунтов наибольший ущерб (1.7 трлн руб.) прогнозируется в Республике Саха (Якутия), которая практически полностью расположена в зоне вечной мерзлоты, а площадь жилого фонда здесь к 2050 г. достигнет 32.7 млн м², или около 30% общей площади жилья в рассматриваемых регионах российской Арктики.

Модернизационный сценарий предполагает ускорение строительства жилья на 50% по отношению к текущему уровню, что приведёт к увеличению общей площади жилья к 2050 г. до 119.6 млн м². Общая стоимость жилого фонда составит 7.2 трлн руб. в ценах 2018 г. Ожидаемый ущерб от протаивания и деградации вечной мерзлоты оценивается в интервале от 500 млрд до 3.36 трлн руб. в зависимости от глубины протаивания и температуры многолетнемёрзлых грунтов.

⁴ В данной работе оценки основаны на расчётах фактической себестоимости работ по возведению новых жилых зданий в отличие от аналогичных оценок в ранее опубликованной статье авторов [14], рассчитанных на основе стоимости основных фондов.

Таблица 4. Оценка затрат на восстановление и поддержание жилого фонда в связи с протаиванием и деградацией вечной мерзлоты

Регион	Жилой фонд под риском деградации вечной мерзлоты, %*	ВРП, млрд руб. (в ценах 2018 г.)	Сценарии развития					
			консервативный			модернизационный		
			Общая площадь жилья, тыс. м ²	Экономический ущерб, млрд руб. (в ценах 2018 г.)		Общая площадь жилья, тыс. м ²	Экономический ущерб, млрд руб. (в ценах 2018 г.)	
				за период 2020—2050 гг.	в среднем в год		за период 2020—2050 гг.	в среднем в год
Республика Коми	100 (100/100)	665.74	8 036.60	88.8 (88.8/88.8)	2.96 (2.96/2.96)	8 601.19	89.7 (89.7/89.7)	2.99 (2.99/2.99)
Ненецкий АО	99 (0.3/99.1)	305.21	1 797.47	92.6 (0.3/92.7)	3.09 (0.01/3.09)	2 379.06	122.8 (0.4/122.8)	4.09 (0.01/4.1)
Ханты-Мансийский АО	4.1 (0.0/60.9)	4447.5	18 213.54	2.3 (0.0/33.7)	0.08 (0.0/1.12)	20 240.93	2.6 (0.0/38.1)	0.09 (0.0/1.27)
Ямало-Ненецкий АО	99.8 (79.1/99.8)	3083.5	14 020.58	416.5 (330.1/416.5)	13.88 (11.0/13.88)	17 642.86	536.4 (425.1/536.4)	17.88 (14.17/17.88)
Красноярский край	74.0 (0.1/99.4)	2280	13 361.33	188.2 (0.3/251.5)	6.27 (0.01/8.38)	14 559.61	197.1 (0.3/263.3)	6.57 (0.01/8.78)
Республика Саха (Якутия)	6.5 (0.0/97.7)	1084.6	32 772.92	114.7 (0.0/1723.7)	3.82 (0.0/57.46)	38 302.83	134.1 (0.0/2016.2)	4.47 (0.0/67.21)
Магаданская область	2.6 (0.0/97.2)	170.72	4 638.95	3.8 (0.0/142.5)	0.13 (0.0/4.75)	5 255.38	4.0 (0.0/149.0)	0.13 (0.0/4.97)
Чукотский АО	0.6 (0.6/81.1)	78.143	1 154.80	0.8 (0.8/101.8)	0.03 (0.03/3.39)	1 732.20	1.1 (1.1/152.7)	0.04 (0.04/5.09)
ИТОГО	53.8 (29.9/95.2)	12115.41	103 666.7	907.7 (420.2/2851.2)	30.26 (14.01/95.0)	119 611.58	1087.7 (516.6/3368.2)	36.26 (17.22/112.27)

*Использованы расчёты из статьи авторов [14]. В скобках указаны минимальная/максимальная величины ущерба, обусловленные глубиной протаивания и температурой многолетнемерзлых грунтов и соответствующей степени ослабления их несущей способности.

В среднем величина ожидаемого ущерба оценивается в 1.08 трлн руб. за период 2020–2050 гг. или 36.26 млрд руб. в среднегодовом выражении, что эквивалентно 0.29% ВРП в ценах 2018 г. При максимальном увеличении глубины протаивания и температуры многолетнемёрзлых грунтов ожидаемый ущерб увеличивается трёхкратно — до 3.37 трлн руб. за весь период, или более 112 млрд руб. в среднем в год. Наибольший ущерб при среднем и максимальном увеличении глубины протаивания и температуры грунтов понесут Ямало-Ненецкий АО и Республика Саха (Якутия).

* * *

Протаивание и деградация вечной мерзлоты вследствие глобальных климатических изменений значительно увеличивают неопределённость и риски хозяйственной деятельности в регионах российской Арктики. Это касается и строительства жилья, и функционирования жилищного сектора — критически важного для жизни и работы населения, прежде всего постоянно проживающего в этих регионах, а также вахтовиков. Потеря устойчивости и разрушение жилых зданий, всё чаще происходящие на территориях российского Севера с многолетнемёрзлыми грунтами, не только резко ухудшают комфортность проживания, но и увеличивают риски здоровью и благополучию людей.

Связанные с этим дополнительные затраты на смягчение ожидаемого в период 2020–2050 гг. социально-экономического ущерба в рассматриваемых восьми регионах российской Арктики могут составить более 30 млрд руб. в среднем в год, или около 0.3% их суммарного ВРП, при среднем увеличении глубины протаивания и температуры грунтов и втрое больше — порядка 112 млрд руб. в год (около 1% суммарного ВРП) — при максимальном их увеличении. При этом указанные масштабы ущерба не учитывают косвенных издержек, связанных со строительством дополнительного (резервного) жилья для переселения из аварийного и ветхого жилого фонда, а также затраты на временное отселение (переселение) людей, оказавшихся без крова и части имущества.

Столь значительные масштабы ожидаемого ущерба требуют адекватных превентивных мер по снижению риска и адаптации к новой социально-экономической реальности со стороны федерального правительства и властей регионов российской Арктики, прежде всего строительной отрасли. Ведь даже при консервативном сценарии развития и минимальных масштабах ущерба от потери устойчивости и разрушения жилых зданий в результате увеличения протаивания и температуры многолетнемёрзлых грунтов в рассматриваемых восьми регионах будет необходимо ежегодно дополнительно строить 243 тыс. м² жи-

лья. При максимальной деформации и деструкции жилого фонда потребность в дополнительных объёмах строительства возрастёт в 6 раз — до 1.5 млн м². Это означает необходимость как минимум удвоения строительных мощностей, учитывая, что текущие масштабы регионального строительства составляют всего около 2.8 млн м², а также принимая во внимание вышеупомянутые императивы резервирования площадей для временного отселения и постоянного переселения людей из аварийного и ветхого жилья, для замещения планового выбытия жилья и улучшения обеспеченности им местного населения.

Решение проблем развития жилищного сектора регионов российской Арктики, обусловленных протаиванием и деградацией вечной мерзлоты и рисками снижения несущей способности многолетнемёрзлых грунтов, помимо наращивания мощностей строительной индустрии, требует её технической модернизации. Речь идёт о разработке конструкционных и технологических решений возведения жилых домов и объектов социальной (коммунально-бытовой, энергетической и т.д.) инфраструктуры, обеспечивающих адаптацию к изменениям регионального климата и их последствиям для устойчивости сооружений в условиях деградации многолетнемёрзлых грунтов, а также об эффективном функционировании жилищного сектора. Такие решения, в частности, могут быть предложены в рамках реализации национального проекта “Экология” (2020–2030 гг.), органической частью которого является федеральный проект “Внедрение наилучших доступных технологий”, в числе которых — новые конструкционные материалы с повышенными прочностными характеристиками, энергоэффективные и “зелёные” технологии.

При разработке подобных технологических решений и, главное, организации управления их реализацией в жилищном секторе северных регионов страны представляется полезным использовать изложенные выше методiku и результаты оценки затрат на снижение риска несущей способности многолетнемёрзлых грунтов. В более широком плане эти оценки целесообразно использовать при разработке и реализации документов стратегического планирования, непосредственно касающихся Арктического макрорегиона страны, прежде всего Национального плана адаптации, мероприятия первого этапа которого до 2022 г. утверждены распоряжением Правительства России в конце 2019 г. [21], а также Стратегии развития российской Арктики до 2035 г., проект которой, разработанный Министерством РФ по развитию Дальнего Востока и Арктики, проходит в настоящее время (начало сентября 2020 г.) согласование в правительстве страны [22].

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Климатические и физико-географические расчёты состояния вечной мерзлоты были выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-00-00600 (18-00-00596) “Сценарии изменений глобального климата и оценки последствий их реализации для социально-экономического развития России в XXI веке” и № 18-05-60252_Арктика “Неучтённые региональные механизмы климатических изменений в Арктике и их влияние на предсказуемость климата и экономические аспекты освоения Арктического пространства России”. Разработка методологии экономической оценки рисков деградации вечной мерзлоты для жилищного сектора регионов российской Арктики, соответствующие расчёты и сценарное моделирование выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-00-00600 (№ 18-00-00599 “Анализ и стратегии управления климатическими рисками долгосрочного социально-экономического развития России”), № 18-05-60146_Арктика “Медико-экологические факторы социально-экономического развития российской Арктики: анализ и прогноз”, № 18-05-60088 “Устойчивость развития арктических городов в условиях природно-климатических изменений и социально-экономических трансформаций”, а также в рамках выполнения гранта, предоставленного в форме субсидии на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития в рамках подпрограммы “Фундаментальные научные исследования для долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства” государственной программы Российской Федерации “Научно-технологическое развитие Российской Федерации”, проект “Социально-экономическое развитие Азиатской России на основе синергии транспортной доступности, системных знаний о природно-ресурсном потенциале, расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий”, номер соглашения с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2020-804 (внутренний номер гранта № 13.1902.21.0016).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Спорышев П.В., Катцов В.М., Говоркова В.А.* Эволюция температуры в Арктике: достоверность модельного воспроизведения и вероятностный прогноз на близкую перспективу // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2016. Вып. 583. С. 45–84.
2. *Romanovsky V.E., Smith S.L., Isaksen K. et al.* Terrestrial permafrost in “State of the climate in 2018” // Special supplement to “Bulletin of the American Meteorological Society”. 2019. V. 100. № 9. P. S153–S156.
3. *Vasiliev A., Drozdov D., Gravis A. et al.* Permafrost degradation in the Western Russian Arctic // Environmental Research Letters. 2020. V. 15. № 4. Article 45001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6f12>
4. *Shiklomanov N.I., Streletskiy D.A., Swales T.B. and Kokorev V.A.* Climate change and stability of urban infrastructure in Russian permafrost regions: Prognostic assessment based on GCM climate projections // Geographical Review. 2017. V. 107. № 1. P. 125–142.
5. *Suter L., Streletskiy D., Shiklomanov N.* Assessment of the costs of climate change impacts on critical infrastructure in the Circumpolar Arctic // Polar Geography. 2019. V. 42. № 4. P. 267–286.
6. *Стрелецкий Д.А., Шикломанов Н.И., Гребенец В.И.* Изменение несущей способности мёрзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 1. С. 22–32.
7. *Хрусталёв Л.Н., Пармузин С.Ю., Емельянова Л.В.* Надёжность северной инфраструктуры в условиях меняющегося климата. М.: Университетская книга, 2011.
8. Рекомендации по устройству свайных фундаментов в многолетнемёрзлых грунтах / НИИОСП им. Н.М. Герсеева Госстроя СССР. М.: НИИОСП, 1985.
9. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на многолетнемёрзлых грунтах. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990.
10. *Instanes A., Anisimov O.* Climate change and arctic infrastructure // Proc. 9th Int. Conf. on Permafrost (Fairbanks, Alaska, 29 June–3 July) / D. Kane and K.M. Hinkel (ed). Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks, 2008. P. 779–784.
11. *Hong E., Perkins R., Trainor S.* Thaw settlement hazard of permafrost related to climate warming in Alaska // ARCTIC. 2014. V. 67. № 1. P. 93–103.
12. *Nelson F.E., Anisimov O.A. and Shiklomanov N.I.* Subsidence risk from thawing permafrost // Nature. 2001. V. 410. P. 889–890.
13. Социально-экономическое развитие российской Арктики в контексте глобальных изменений климата / Под ред. акад. Б.Н. Порфирьева. М.: Научный консультант, 2017.
14. *Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А.* Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты под влиянием изменений климата для дорожной инфраструктуры в Российской Арктике // Вестник РАН. 2019. № 12. С. 1228–1239; *Porfiriev B.N., Eliseev D.O. and Streletskiy D.A.* Economic Assessment of Permafrost Degradation Effects on Road Infrastructure Sustainability under Climate Change in the Russian Arctic // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2019. № 6. P. 567–576.
15. *Streletskiy D.A., Suter L., Shiklomanov N.I. et al.* Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost // Environmental Research Letters. 2019. V. 14. Article 025003.

16. *Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I.* Arctic cities through the prism of permafrost / Orttung R. (ed.). Sustaining Russia's Arctic cities: Resource politics, migration, and climate change. Berghahn Press, 2016. P. 201–220.
17. Демографический ежегодник России. 2017: Стат. сб. М.: Росстат, 2017.
18. Национальный проект “Жильё и городская среда”. <https://minstroyrf.gov.ru/trades/natsionalnye-proekty/natsionalnyu-proekt-zhilye-i-gorodskaya-sreda> (дата обращения 15.08.2020).
19. Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA). Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Program, 2017.
20. *Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I., Nelson F.E.* Permafrost, infrastructure and climate change: a GIS-based landscape approach to geotechnical modeling // Arctic, Antarctic and Alpine Research. 2012. V. 44. № 3. P. 368–380.
21. Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года. Утверждён распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 г. № 3183-р. <http://government.ru/docs/38739/> (дата обращения 28.08.2020).
22. Арктика 2035. Стратегия развития. <https://arctic2035.ru/> (дата обращения 01.09.2020).

СОСТОЯНИЕ ОЗЁРНОГО ФОНДА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

© 2021 г. В. А. Румянцев^{a,b,*}, А. В. Измайлова^{a,**}, А. С. Макаров^{b,***}

^a Институт озераедения РАН Санкт-Петербургского федерального исследовательского центра РАН,
Санкт-Петербург, Россия

^b Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: rum.ran@mail.ru

**E-mail: ianna64@mail.ru

***E-mail: makarov@aari.ru

Поступила в редакцию 14.08.2020 г.

После доработки 09.09.2020 г.

Принята к публикации 10.10.2020 г.

В свете активного освоения арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) крайне важен анализ состояния её озёрного фонда и изменений экологического состояния озёрных экосистем, ожидаемых в связи с существующими планами развития северных территорий. Такой анализ позволит сформировать программу изучения и мониторинга озёр с целью рационального использования их природного потенциала, включая обеспечение населения водой надлежащего качества и предотвращение вызванных водным фактором экологических катастроф, чреватых негативными изменениями окружающей среды и снижением биоразнообразия.

В пределах АЗРФ сконцентрировано ~2/3 всех водоёмов страны. Региональная оценка состояния озёрных экосистем АЗРФ свидетельствует, что значимые изменения охватывают в настоящее время не более половины озёр и лишь на отдельных водоёмах могут характеризоваться как чрезвычайно опасные. Однако по мере освоения Арктики количество регионов с ухудшающейся экологической ситуацией неуклонно растёт, а многие проблемы, возникающие в водных экосистемах, не решаются из-за недостатка данных. Авторами статьи выдвинуты предложения, представляющиеся им первоочередными при формировании программы развития АЗРФ. Подчёркнуто, что её реализация без должной экологической составляющей приведёт к значительному расширению географии загрязнения арктических водоёмов.

Ключевые слова: Арктическая зона, Стратегия развития АЗРФ, охрана окружающей среды, экологическая безопасность, озёра.

DOI: 10.31857/S0869587321020079



РУМЯНЦЕВ Владислав Александрович – академик РАН, научный руководитель ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН. ИЗМАЙЛОВА Анна Владиленовна – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН. МАКАРОВ Александр Сергеевич – доктор географических наук, профессор РАН, директор ГНЦ ААНИИ.

Российская Арктика характеризуется богатыми запасами природных ископаемых, её поэтапное сбалансированное освоение — одна из важнейших стратегических задач социально-экономического развития страны. Государственная политика в Арктике реализуется с учётом национальных приоритетов, определённых в документах стратегического планирования федерального уровня [1–3]. В числе важнейших приоритетов — повышение уровня жизни населения арктических регионов, рациональное использование их ресурсной базы и сбережение природной среды. При этом отмечается, что существующий уровень развития системы мониторинга окружающей среды Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) не соответствует новым экологическим вызовам.

Напомним, что к важнейшим составляющим природной среды, определяющим как экономический рост, так и жизнедеятельность человека, относятся водные ресурсы. В Арктике они включают воды пресных озёр, удобные в эксплуатации в условиях слабой инфраструктуры и служащие сегодня источником водоснабжения населённых пунктов. Вследствие упрощённости экосистем северные водоёмы более уязвимы к загрязнению в сравнении с озёрами других регионов, поэтому возрастающее по мере освоения АЗРФ антропогенное воздействие на них вызывает серьёзную озабоченность [4]. В этой связи основное внимание в статье фокусируется на вопросах современного состояния озёрного фонда АЗРФ, анализе изменений качества арктических озёрных вод под воздействием антропогенной активности, а также на необходимых шагах в направлении рационального использования и охраны поверхностных водоёмов Арктики, которым угрожает бесконтрольное освоение новых территорий.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ АРКТИЧЕСКИХ ОЗЁР

Согласно последней оценке [4], на спутниковых снимках в пределах Арктической зоны РФ дешифрируется более 2.5 млн водоёмов (около 2.1 млн в азиатской её части и менее 400 тыс. в европейской), или $\sim 2/3$ всех водоёмов страны [5]. Около 975 тыс. опознаваемых водоёмов АЗРФ превышают по площади зеркала 1 га (такой водоём принято считать озером). Лишь ~ 19 тыс. озёр имеют площадь более 1 км², 930 относятся к категории средних (10–100 км²), 70 — к категории больших (100–1000 км²) и одно (озеро Таймыр) — великих (>1000 км²). Суммарная площадь водной поверхности арктических озёр составляет ~ 160 тыс. км² [4], или чуть менее половины суммарной площади водной поверхности всех естественных водоёмов РФ. Средняя

озёрность АЗРФ — 4.2%, что в 2 раза превышает этот показатель по стране. Суммарный объём вод, заключённых в северных озёрах, оценивается в ~ 760 км³ [4]. На рисунке 1 представлено распределение озёрного фонда АЗРФ по субъектам федерации. Большинство водоёмов характеризуется как небольшими размерами, так и малыми глубинами. Наиболее глубокие приурочены к плато Путорана и Балтийскому кристаллическому щиту. Только в 32 самых крупных водоёмах плато Путорана сконцентрировано $\sim 45\%$ суммарного запаса озёрных вод всей АЗРФ, в водоёмах Балтийского щита — более 11%.

В силу труднодоступности арктических регионов большинство расположенных в их пределах озёр не изучены с позиций лимнологии. При этом ситуация несколько лучше на Европейском Севере, прежде всего на Кольском полуострове. Уже в 1931 г., когда на полуострове только началось промышленное строительство, на его озёрах работали Кольская комплексная экспедиция АН СССР и экспедиция Государственного гидрологического института [6–9]. Как результат, к сегодняшнему дню по большинству крупных водоёмов Кольского полуострова и севера Республики Карелия наряду с современными наличествуют и качественные ретроспективные данные. На остальной части АЗРФ лимнологические исследования проводятся редко и охватывают очень небольшое количество водоёмов. По нашей приближённой оценке, какие-либо данные измерений имеются лишь по чуть более 5% озёр площадью свыше 1 км². Разрозненные данные, накопленные на протяжении XX и двух десятилетий XXI в. благодаря экспедиционным работам научно-исследовательских и проектных институтов страны, с одной стороны, позволяют получить общие представления о происходящих в арктических водоёмах процессах, в том числе связанных с антропогенной деятельностью, но, с другой — они крайне недостаточны для того, чтобы эти процессы до конца осмыслить и в условиях активного освоения Арктической зоны обеспечить поддержание необходимого качества озёрных вод, используемых для питьевого водоснабжения и рыболовства.

Ещё в середине XX столетия озёра российской Арктики, за редким исключением, характеризовались высочайшим качеством вод. Однако к настоящему времени, когда география разработки месторождений углеводородов и других полезных ископаемых заметно расширилась, экологическое состояние многих водоёмов существенно ухудшилось. Среди первых арктических регионов, освоение рудных месторождений которых сопровождалось значительными экологическими изменениями, — Кольский полуостров и север Центральной Сибири. В 1930-х годах происходило бурное развитие инфраструктуры Мурманской об-

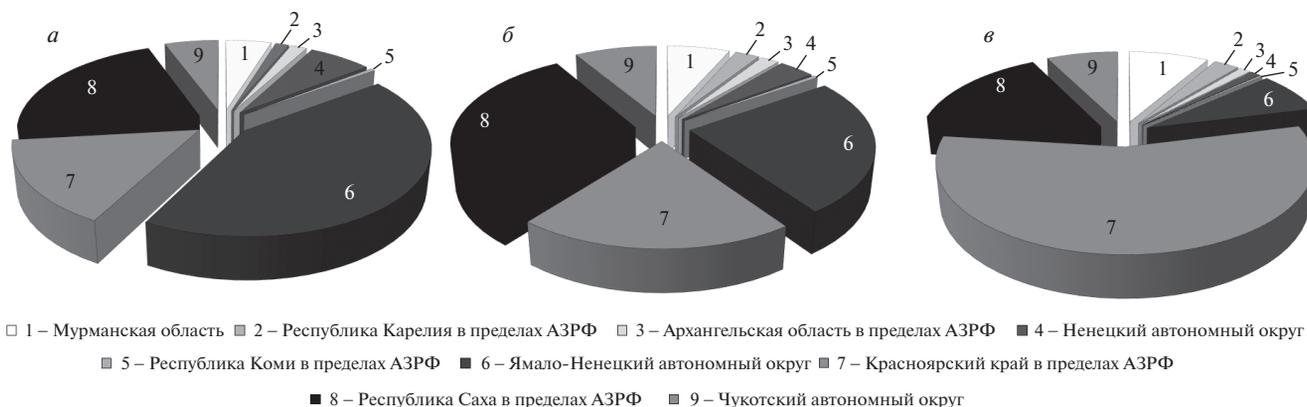


Рис. 1. Распределение количества дешифрируемых водоёмов (а), площади водной поверхности (б) и объёмов озёрных вод (в) по субъектам Федерации, входящим в АЗРФ согласно Указу Президента РФ от 27 июня 2017 г. № 287 “О внесении изменений в Указ Президента Российской Федерации от 2 мая 2014 г. № 296 “О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации”.

ласти, связанное со строительством апатито-нефелиновой обогатительной фабрики на берегу озера Вудъявр и медно-никелевого предприятия на берегу озера Имандра. В то же время на севере Центральной Сибири началось промышленное строительство в связи с освоением Норильского медно-никелевого месторождения. В 1940–1950-е годы на Кольском полуострове были введены в строй горнорудные и металлургические комбинаты, начались разработка месторождения железных руд и добыча лопарита [10, 11]. К началу 1950-х годов на лидирующие позиции в цветной металлургии страны вышел Норильский комбинат.

Активное развитие горнодобывающей и перерабатывающей промышленности привело к значительной антропогенной нагрузке на поверхностные воды северных регионов. Наряду с существенным химическим загрязнением природных вод происходило их антропогенное эвтрофирование. Однако поскольку до середины XX в. концепции освоения окружающей среды характеризовались высокой степенью антропоцентричности, особого внимания вопросам экологии не уделялось. Лишь со второй половины прошлого века, когда экологическая обстановка в ряде регионов страны ухудшилась, началось отслеживание различных контролируемых показателей, в том числе состава и свойств водной среды, обеспечивающих её сохранность в пригодном для хозяйственного использования состоянии. Принятие действенных природоохранных мер в арктических регионах приходится на 1980-е годы. При этом необходимо отметить, что, если на Кольском полуострове благодаря проведению обширных лимнологических изысканий с начала его освоения такие меры позволили частично приостановить негативные процессы в водной среде, то в Норильском регионе проблемы экологического состояния озера Пясино, принимающего часть сточных вод горно-металлургического про-

изводства, и закисления водоёмов Таймырского полуострова вследствие колоссального аэротехногенного загрязнения, вызываемого деятельностью ГМК “Норильский никель”, стоят крайне остро и не решены до настоящего времени [11].

Однако и загрязнение озёр Кольского полуострова остаётся актуальной проблемой. На его водные объекты приходится около 80% всех случаев высокого и экстремально высокого загрязнения в континентальной Арктической зоне РФ [12]. Тысячи тонн минеральных солей, взвешенных веществ, биогенных элементов, сотни тонн тяжёлых металлов продолжают поступать в озёра со стоками горнопромышленного комплекса [13]. Кроме того, происходит аэротехногенное загрязнение территории за счёт переноса некоторых из этих веществ воздушными массами. Находящиеся в зоне влияния промышленных предприятий природные комплексы испытывают деградацию на всех уровнях организации, прежде всего это сказывается на озёрах центральной и западной части полуострова, где сконцентрировано основное производство [14].

Со второй половины XX в. в азиатской части страны ведётся активная разработка месторождений углеводородов. В конце века, наряду с уже освоенной Западно-Сибирской нефтегазоносной провинцией, началось освоение Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. В регионах нефте- и газопромыслов формируются специфические техногенные ландшафты, а расположенные здесь мелководные озёра постепенно деградируют [15]. Неконтролируемое загрязнение приводит к изменению их функциональных особенностей и отрицательно сказывается на жизнеспособности обитающих в них организмов. В настоящее время повышенные концентрации нефтепродуктов наблюдаются не только в водоёмах, расположенных вблизи центров нефте- и

газодобычи, но и на значительном расстоянии от них, так как, в силу гидрофобности, разносятся с речным стоком на дальние расстояния [16].

Важнейшую роль в загрязнении, а также в закислении арктических водоёмов играет и аэротехногенное загрязнение территории, ассоциированное с растущими центрами хозяйственного освоения. В начале 2010-х годов объёмы промышленных выбросов предприятий Ненецкого автономного округа составили 158 тыс. т загрязняющих веществ (оксид углерода, диоксид серы и др.) [17]. Благодаря глобальным и локальным атмосферным переносам происходит значительное закисление водоёмов севера Западной Сибири [18]. Его опасность заключается не только в негативном воздействии на водные организмы, но и в изменениях геохимических циклов элементов, увеличивающих концентрацию и токсичность тяжёлых металлов [19]. Исследования, проведённые на водоёмах Надым-Пурского междуречья [20] с целью выявления экологических изменений в водных экосистемах Ямало-Ненецкого автономного округа, не подверженных прямому антропогенному воздействию, показали, что воды 18% обследованных малых озёр имеют признаки антропогенного закисления, выражающиеся в низких значениях pH и цветности при преобладании сульфатов в анионном составе.

Несмотря на низкую лимнологическую изученность северных территорий, работы, выполненные в последние десятилетия специалистами различных институтов и организаций, позволяют составить сводную таблицу, демонстрирующую современное состояние озёрного фонда субъектов Федерации, входящих в АЗРФ. Отметим, что эта таблица – результат подробного обобщения современной лимнологической литературы, выполненного в ИНОЗ РАН в ходе подготовки монографий по озёрам России [10, 21]. Как видно из таблицы, в настоящее время во всех субъектах Федерации, расположенных в пределах АЗРФ, значительные изменения охватывают менее половины озёр и лишь на отдельных водоёмах могут характеризоваться как чрезвычайно опасные. Для сравнения, преобладающее большинство озёр центра и юга европейской части России существенно загрязнены.

Наименее загрязнены водоёмы восточной части Арктической зоны, наибольшее загрязнение испытывают озёра Мурманской области, Ямало-Ненецкого и Ненецкого автономных округов, городских округов Воркута (Республика Коми) и Норильск (Красноярский край). В силу повышенной чувствительности арктических водоёмов к антропогенной нагрузке существующее положение вещей вызывает опасения, особенно с учётом планов дальнейшего развития Арктики, предполагающих, что количество созданных на

новых предприятиях рабочих мест к 2035 г. увеличится на 200 тыс. [3]. Это приведёт к росту и общей численности населения АЗРФ, которое на 1 января 2019 г. составляло лишь 1.66% населения страны. Миграционный приток будет сопровождаться развитием инфраструктуры, что не только увеличит антропогенное давление на окружающую среду, но и повысит требования к её состоянию. Следует с сожалением отметить, что на большинстве территорий, входящих в АЗРФ, показатели смертности трудоспособного населения, младенческой смертности, а также общей заболеваемости хуже общероссийских или средних по субъектам Российской Федерации [22].

В опубликованной нами статье [4] указывается на существенное значение водного фактора в формировании здоровья человека на Севере России. Особую обеспокоенность в этой связи вызывает состояние здоровья коренного населения, образ жизни которого предполагает потребление воды без специальной обработки. Рыболовство здесь – важнейший вид деятельности, не только обеспечивающий пропитание семей, но и носящий коммерческий характер. Без соответствующих гидроэкологических изысканий и мониторинговых работ удовлетворение потребностей местного населения в качественной питьевой воде не представляется возможным.

ОЖИДАЕМЫЕ РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОЗЁРНОГО ФОНДА

Стратегия развития АЗРФ (далее – Стратегия) предусматривает формирование новых и развитие действующих минерально-сырьевых центров; разработку новых нефтегазовых провинций и трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья, глубокую переработку нефти, производство сжиженного природного газа и газохимической продукции; комплексное развитие инфраструктуры северного морского транспортного коридора и строительство авто- и железнодорожных магистралей, обеспечивающих кратчайшие пути сухопутных грузоперевозок. География планируемых работ наибольшим образом затронет озёрные экосистемы Мурманской области, Ненецкого и Ямало-Ненецкого автономных округов, муниципальных образований Республики Коми, Красноярского края и Республики Саха. В меньшей степени существующие планы отразятся на водоёмах Чукотского автономного округа, муниципальных образований Республики Карелия и Архангельской области. Наиболее интенсивное развитие планируется в той части Арктики, которая характеризуется повышенной озёрностью.

Кратко рассмотрим региональные изменения озёрного фонда, к которым могут привести планы развития АЗРФ в случае отсутствия должного

Таблица 1. Современное состояние озёрного фонда Арктической зоны РФ

Регион	Основные виды хозяйственной деятельности, сказывающиеся на экологическом состоянии озёрных экосистем												Основные изменения, произошедшие с озёрными экосистемами				
	Токсическое загрязнение, связанное с промышленными стоками	Токсическое загрязнение, связанное с сельскохозиственными стоками	Загрязнение, связанное с транспортировкой нефти и газа	Аэротехногенное загрязнение	Транзитное загрязнение с речным стоком	Загрязнение за счёт геологических процессов и строительных работ	Модификация озёрных систем, связанные с гидротропностью	Уничтожение естественных ландшафтов, сказывающиеся на режиме озёр	Биогенное загрязнение, связанное с сельскохозиственными стоками	Загрязнение за счёт коммунальных стоков	Рекреационная нагрузка	Токсическое загрязнение водоемов	Апификация водоемов	Антропогенное загрязнение	Затопление	Инвазии	Снижение рыбных ресурсов
Мурманская область	2	0	0	2	0	1	1	1	0	0	0	2	2	1	0	1	2
Районы Республики Карелия в рамках АЗРФ	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
Районы Архангельской обл. в рамках АЗРФ	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Ненецкий автономный округ	1	0	2	2	1	1	0	1	1	0	2	1	1	1	1	1	1
Районы Республики Коми в рамках АЗРФ	1	0	2	2	1	1	0	1	1	0	2	1	1	1	1	1	1
Ямало-Ненецкий автономный округ	1	0	2	2	2	0	0	1	0	0	2	2	1	1	1	1	1
Районы Красноярского края в рамках АЗРФ	2	0	0	2	1	1	0	1	1	1	2	2	0	0	1	1	1
Районы Республики Саха в рамках АЗРФ	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Чукотский автономный округ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Условные обозначения: 0 – загрязнение отсутствует или незначительное; 1 – загрязнение охватывает менее 20% озёр, выражено некатастрофично; 2 – загрязнение охватывает от 20 до 50% озёр, имеет значительные последствия; 3 – загрязнение охватывает более половины водных объектов, опасное.

мониторинга водных объектов и принятия на его основе необходимых мер по сохранению качества природных вод. На Мурманскую область приходится чуть менее 4% территории Арктической зоны РФ, вместе с тем в настоящее время здесь проживает около 1/3 её населения. Согласно Стратегии, наряду с комплексным развитием морского порта Мурманск как мультимодального транспортного хаба, увеличивающего количество рабочих мест и способствующего миграции в область трудоспособного населения, на Кольском полуострове предполагается развитие действующих, а также формирование новых сырьевых центров. Уже указывалось, что современное экологическое состояние озёрного фонда Мурманской области можно охарактеризовать как проблемное (см. таблицу), а осуществляемый комплекс мер – как недостаточный. По данным Федеральной службы государственной статистики [23], на конец 2010-х годов заболеваемость населения Мурманской области в 1.12 раза превосходит среднюю по стране, так же как и количество опасных заболеваний, выявленных у детского населения.

Благодаря чрезвычайному богатству Кольского полуострова, запланированное развитие здесь действующих и создание новых сырьевых центров при достаточной финансовой поддержке может происходить относительно быстро. В связи с этим стоит неотложная задача принятия ещё более жёстких природоохранных мер, гарантирующих сохранение природной среды на уровне, обеспечивающем необходимые параметры качества жизни населения. Требуется организация системы постоянного мониторинга водных объектов, прежде всего озёр, расположенных в непосредственной близости к центрам добычи и переработки сырья. В ином случае процессы токсического загрязнения, закисления и эвтрофирования охватят уже более половины водоёмов области, а экосистемы ряда крупнейших озёр, в силу территориальной близости к ним большинства промышленных центров, достигнут особо опасного состояния. Негативные процессы затронут и озёра, расположенные в намеченных в Стратегии туристическо-рекреационных кластерах.

Водоёмы севера Карелии испытывают относительно небольшую антропогенную нагрузку. Большинство сточных вод здесь относится к органоминеральным и биогенным загрязнителям, вызывающим усиление эвтрофирования водоёмов, но его темпы пока невелики. В рамках Стратегии наряду с формированием и развитием кластера по глубокой переработке древесины на севере Карелии предполагается освоение и развитие минерально-сырьевых центров на базе Восточно-Карельской медно-золото-молибдено-ворудной зоны. Представляется, что намеченные планы не сильно отразятся на состоянии озёрно-

го фонда. Геолого-геофизическая изученность Сумозёрско-Кенозёрской металлогенической зоны пока неравномерна, так что следует ожидать продолжения геолого-разведывательных работ. Наибольшие перспективы имеет освоение в ближайшее время рудного поля Лобаш, объединяющего молибден-порфиоровое месторождение Лобаш и непосредственно примыкающее к нему с северо-востока месторождение золота Лобаш-1. Для обеспечения экологической безопасности в районе разработки месторождений будет полезно провести гидрохимические и гидробиологические исследования, аналогичные проводимым сотрудниками Института водных проблем Севера КарНЦ РАН на водоёмах реки Кенти, вблизи Костомукшского ГОКа, где уже в первые десятилетия после его пуска во всех озёрах системы отмечалось увеличение минерализации воды, изменение её ионного состава, а также сообществ гидробионтов [24, 25].

Не следует ожидать значительного ухудшения экологического состояния озёр континентальной части Архангельской области. Основные предприятия, оказывающие в настоящее время влияние на её водные ресурсы, сконцентрированы в устье Северной Двины и привязаны к расположенным здесь городским центрам. Реализация планов строительства предприятий деревообрабатывающей отрасли и целлюлозно-бумажной промышленности и модернизации морского порта Архангельск усилит процессы эвтрофирования городских водоёмов, расположенных приблизительно в тех же локациях. В свою очередь развитие свинцово-цинкового минерально-сырьевого центра на архипелаге Новая Земля, в силу высокой токсичности данного производства, может существенно отразиться на экологическом состоянии водоёмов Южного острова, расположенных вблизи Павловского месторождения. Огромная минерально-сырьевая база месторождения, хорошая обогатимость руд, их неглубокое залегание и возможности карьерного способа отработки делают проект перспективным и относительно быстро реализуемым [26]. Между тем его экологическая обоснованность вызывает вопросы.

По количеству озёр Ненецкий автономный округ (НАО) лидирует в европейской части Арктики, хотя среди них и очень мало крупных. Округ слабо заселён (здесь проживает менее 50 тыс. человек), однако обладает значительным экономическим потенциалом. Он находится в северной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, в пределах которой открыто 83 месторождения углеводородного сырья. Начало их активного освоения пришлось на конец XX в. и сопровождалось значительными изменениями в природной среде и водных экосистемах, на что указывают проведённые здесь исследования [15, 16]. Стратегия освоения АЗРФ включает планы развития дей-

ствующих и формирования новых нефтяных и газоконденсатных минерально-сырьевых центров на базе местных месторождений; строительство глубоководного морского порта Индига и реконструкцию порта Нарьян-Мар, а также соединение их с материком железнодорожной и автомобильными магистралями. Без должного контроля реализация этих проектов приведёт к ещё большему масштабу загрязнения водоёмов округа, быстро распространяемому за счёт водного и аэротехногенного переноса, и обострит проблемы взаимодействия с местным населением.

Наряду с сокращением ареалов оленеводческих пастбищ местные жители сталкиваются с ухудшением экологической обстановки, снижением качества воды и сокращением рыбных запасов. Уже в 2010-е годы напряжение в отношениях между коренными жителями и нефтяными компаниями вызвали планы разработки Харьянгинского и Кумжинского месторождений, строительства трубопроводов и морских перевозок нефти из посёлка Варандей [27]. Проведение масштабных гидрологических и лимнологических работ может улучшить отношения с местными жителями. Оно должно быть привязано к территориям основных разрабатываемых месторождений, охватывать и ранее исследовавшиеся водоёмы НАО: озёра Харбейской системы и Вашуткинские озера, внесённые в теневой список водноболотных угодий международного значения; озёра Косминской системы, также внесённой в этот список; озёра Инзерейского и Хоседаюсского районов, расположенные в регионе промышленной активности; озёра Пильненской группы; Просундуйские озёра. Большое значение имеет обследование озёр, имеющих культурное значение и являющихся претендентами на включение в туристический кластер, таких, как Городнецкое озеро, на берегах которого находятся древнее поселение Югорская сопка и древнерусское городище Кобылиха.

В пределах Республики Коми в арктическую зону включена территория городского округа Воркута, являющегося одним из крупнейших промышленных центров российской Арктики и очагом загрязнения близлежащих территорий, в том числе воздушным путём. В округе проживает около 75 тыс. человек, что более чем в 1.5 раза превосходит население соседнего НАО. Здесь планируется: развитие угольных минерально-сырьевых центров на базе Печорского угольного бассейна; формирование и развитие нефтегазовых минерально-сырьевых центров на базе Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции; геологическое изучение и развитие минерально-сырьевой базы твёрдых полезных ископаемых; создание горно-металлургического комплекса по переработке титановых руд и кварцевых песков Пижемского месторождения; формирование

Парнокского железомарганцевого минерально-сырьевого центра. Реализация столь масштабных планов приведёт к усилению токсического загрязнения и закислению водоёмов не только в пределах городского округа Воркута, но, за счёт расширения зоны выпадения кислотных осадков, и на соседних территориях. Это обострит вопросы экологической безопасности, потребует проведения соответствующих гидрологических изысканий, может быть, совместных с работами на территории НАО. При этом, исходя из розы ветров, наибольший интерес будет представлять состояние озёр, расположенных к северу и северо-востоку от Воркуты. Кроме того, намеченные планы по формированию кластера активного природного туризма на Полярном и Приполярном Урале (в том числе на территории национального парка «Югыд ва») требуют продолжения проводившихся ранее исследований [28, 29] и на его озёрах.

Следует ожидать также значительного расширения географии загрязнения на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО). Уже в 1960-е годы в Тазовском районе северо-западной Сибири были открыты обширные месторождения газа, а на полуострове Ямал разведаны богатые запасы углеводородов. Начало их промышленного освоения пришлось на 1990–2000-е годы, и к настоящему времени регион обеспечивает большую часть производства российского природного газа. Открыты 133 месторождения нефти, из которых разрабатываются 33. Согласно Стратегии, в пределах округа планируется расширение производства сжиженного природного газа на полуостровах Ямал и Гыдан; освоение месторождений газа Обской губы; развитие Новопортовского нефтегазоконденсатного и Бованенковского газоконденсатного минерально-сырьевых центров, освоение Тамбейской группы месторождений; развитие нефте- и газохимических производств и формирование многопрофильного комплекса газопереработки и нефтехимии.

В настоящее время на территории ЯНАО выделены следующие основные антропогенные факторы, влияющие на экологическое состояние озёр: добыча, разведка и транспортировка нефти и газа; строительные работы по обустройству газовых месторождений; аэротехногенное загрязнение; климатические изменения антропогенного характера, влияющие на изменения термокарстовых процессов и термоэрозии [20]. Происходит химическое загрязнение поверхностных вод, закисление водоёмов, характеризующихся здесь низкой кислотонейтрализующей способностью, изменение гидрологического и гидрохимического режимов водоёмов, заиливание донных грунтов, замутнение воды, что в итоге вызывает сокращение видового разнообразия и упрощение структуры различных групп гидробионтов. На ряде озёр наблюдаются при-

знаки антропогенного эвтрофирования. Изменение температурного и влажностного режимов грунтов приводит к изменению их состава, строения и свойств, что, в свою очередь, вызывает активизацию криогенных процессов [30], результатом которых становятся антропогенные изменения количества и площади арктических водоёмов. Активное хозяйственное освоение ЯНАО предвещает резкое усиление экологических проблем и количественные изменения озёрного фонда. При отсутствии постоянного мониторинга водных объектов загрязнение озёр, расположенных вблизи промышленных центров, может произойти очень быстро. Необходимо также учитывать и аэротехногенное загрязнение территории, приводящее к закислению водоёмов, расположенных на значительном расстоянии от промышленных центров. Как результат, масштаб загрязнения водных объектов ЯНАО за несколько десятилетий достигнет уровня соседнего с ним Ханты-Мансийского автономного округа, и, в силу повышенной уязвимости к загрязнению арктических экосистем, может его превзойти.

В пределах муниципальных образований Красноярского края, входящих в АЗРФ, основным центром промышленного загрязнения является Норильский горнодобывающий и металлургический комбинат. Кислотные дожди, выпадающие на севере Красноярского края, приводят к закислению водоёмов и другим негативным изменениям среды на значительной части Таймырского полуострова. В последние десятилетия предприняты меры по снижению выбросов за счёт модернизации очистных сооружений и сокращения отдельных производств. Дан старт «Серному проекту», согласно которому суммарные выбросы диоксида серы к 2023 г. должны сократиться на 75%. Согласно Стратегии, в пределах края планируется создание и развитие нефтяного минерально-сырьевого центра на базе месторождений Западного Таймыра; создание Западно-Таймырского углепромышленного кластера; дальнейшее развитие Норильского промышленного района, включающее увеличение числа промышленных площадок в Красноярском крае; создание минерально-сырьевого центра на базе Попигайского месторождения технических алмазов; освоение ресурсов Таймыро-Североземельской золотоносной провинции. Внушает надежду, что в планах развития Норильского промышленного района специально выделена необходимость применения технологий, обеспечивающих пониженное образование вредных веществ. В то же время география токсического загрязнения региона расширяется за счёт освоения новых минерально-сырьевых, а также нефтяных месторождений Таймыра. В этой связи следует подчеркнуть крайне недостаточную лимнологическую изученность севера Красноярского края, на порядок

уступающую изученности соседнего Ямало-Ненецкого автономного округа, водоёмы которого в последние десятилетия активно исследуются. Озёра Таймырского полуострова требуют организации сети наблюдений практически с нулевого уровня, но с опорой на данные экспедиций, проводившихся здесь ранее [31, 32].

Загрязнённость озёр, расположенных во входящей в АЗРФ северной части Республики Саха, пока относительно небольшая и носит локальный характер. Однако отмечается, что расположенные здесь водоёмы характеризуются низкой степенью устойчивости к любым загрязнениям и даже при относительно невысоком антропогенном прессе быстро деградируют [33], из-за чего уже в настоящее время в ряд населённых пунктов республики приходится доставлять воду из водоёмов, расположенных на больших расстояниях от поселений. Согласно Стратегии, в пределах Якутии предполагается развитие минерально-сырьевых центров Анабарского и Ленского бассейнов; россыпных месторождений алмазов на территории Анабарского, Булунского, Оленекского районов; Западно-Анабарского нефтяного минерально-сырьевого центра; освоение минерально-сырьевой базы твёрдых полезных ископаемых Янского бассейна; разработка Краснореченского месторождения углей и производство строительных материалов на базе месторождений Индигирского бассейна; развитие Зырянского угольного минерально-сырьевого центра. География работ велика, и их осуществление создаёт опасность токсического загрязнения и эвтрофирования вод на обширных территориях. Кроме того, освоение региона будет сопровождаться изменениями термокарстовых процессов и термоэрозии и вызывать активизацию криогенных процессов, результатом которых явятся антропогенные изменения количества и площади озёр.

Загрязнённость озёрных вод Чукотского автономного округа в сравнении с другими регионами минимальна и привязана к основным центрам добычи сырья, прежде всего – золотодобычи [21, 34]. В последние годы правительством Чукотки взят курс на диверсификацию добывающей промышленности округа. Предполагается развитие Баимского и Пыркакайско-Майского минерально-сырьевых центров драгоценных и цветных металлов. Среди месторождений Баимской медно-порфировой зоны наиболее разведано месторождение Песчанка, уже начато строительство горно-обогатительного комбината, запуск которого намечен на 2023 г. В ближайшее время планируется освоение и месторождения олова Пыркакайские штокверки Валькумей-Телекайской металлогенной зоны. Токсичность указанных видов минерально-сырьевых ресурсов не столь высока, однако проведение гидрологических и лимнологических изысканий в регионах их разработки

представляется целесообразным, поскольку в условиях слабой инфраструктуры население вынуждено потреблять воду практически без очистки.

ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ ШАГИ В ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Представленная выше информация свидетельствует прежде всего о том, что, несмотря на документы официальных органов, призывающие к применению сбалансированного эколого-экономического подхода к освоению природы, в реальности он остаётся благим пожеланием. Приоритет отдаётся планам хозяйственно-экономического развития, а проблемы рационального природопользования и охраны окружающей среды уходят на второй план. Иначе чем можно объяснить тот факт, что интенсивное антропогенное вторжение в окружающую среду АЗРФ происходит практически при полном отсутствии информации о современном состоянии арктических водоёмов? Между тем такая информация может быть получена ещё на стадии инженерных изысканий. Реально ли в таком случае говорить о ведении рационального природопользования и предлагать охранные меры, разработка которых должна опираться на данные мониторинга хотя бы за короткий период наблюдений? Причина такого недопустимого положения связана, видимо, с тем, что крупным компаниям экономически выгоднее оплатить штраф за причинённый окружающей среде ущерб, чем выделять средства на проведение предварительных изысканий, обеспечивающих экологическую безопасность их деятельности. А ведь объективная оценка ущерба, нанесённого природной среде, требует знания её исходного состояния. Отсутствие такого знания открывает возможность получения заниженных величин.

Природно-ресурсный потенциал северных водоёмов с его запасами пресной воды велик, однако из-за слабой изученности остаётся недооценённым (подробно эти вопросы рассмотрены в работах [4, 5, 10, 21]). Этот потенциал также включает в себя биологические ресурсы, запасы сапропеля, а ещё — рекреационные, водотранспортные, энергетические, водохозяйственные ресурсы. Ниже вкратце остановимся на некоторых из них, а также на первоочередных шагах, которые следует предпринять в области рационального использования и охраны северных водоёмов в условиях планируемого социально-экономического подъёма АЗРФ.

Среди биологических ресурсов особого внимания требуют рыбные запасы. В арктических озёрах обитают рыбы таких высокоценных пород, как чир, таймень, муксун, ряпушка, пелядь, голец, сиг и др. [35–37]. Самое многочисленное по

количеству видов семейство — сиговые, отличающиеся высокой приспособляемостью к местным условиям обитания и в то же время высокой чувствительностью к загрязнению водной среды. Несмотря на то, что рыбопродуктивность малых северных озёр невелика, что связано со слаборазвитой кормовой базой в условиях высоких широт, ряд средних и больших озёр можно охарактеризовать как высоко рыбопродуктивные. Поставленная в рамках Программы освоения АЗРФ задача создания условий для повышения эффективности добычи водных биологических ресурсов и их освоения может решаться не только за счёт морских акваторий, но и озёрных. Дополнительный вклад в повышение добычи рыб высокоценных пород может внести их искусственное разведение в арктических водоёмах, что особенно важно на фоне наблюдающегося в последние десятилетия катастрофического снижения их запасов в сибирских реках. Как местная, так и выращиваемая рыба весьма чувствительна к загрязнению водной среды, поэтому для успешного развития внутреннего рыбного промысла в арктической зоне так важно обеспечить охрану рыбопродуктивных водоёмов от антропогенных воздействий.

Северные пресноводные озёра обладают запасами сапропелей — донных осадков, которые непрерывно образуются в процессе гумификации подвергшихся седиментации остатков фауны, флоры и почвенных частиц перегноя и их физико-химических преобразований в анаэробных условиях. Сапропели представляют собой сложную по химическому составу многокомпонентную систему биогенного происхождения, в которой присутствуют все необходимые органические вещества, благодаря чему они нашли широкое применение в качестве сорбентов и сырья в химической промышленности, биостимуляторов — в медицине, биодобавок и удобрений — в сельском хозяйстве. Запасы сапропеля в арктических озёрах пока никем серьёзно не исследовались. Вряд ли можно ожидать, что они будут сравнимы по мощности с многометровыми залежами, встречающимися в ряде озёр Русской равнины. Вместе с тем для Арктической зоны, с учётом намеченных планов её освоения, их может оказаться вполне достаточно для применения в недропользовании и сельском хозяйстве. Первое связано с развитием топливно-энергетической базы. В этом случае перспективно использование сапропеля в качестве дисперсной добавки в буровых растворах при бурении газовых и нефтяных скважин [38]. Второе вызвано необходимостью развития местного агропромышленного комплекса, без которого будет сложно полностью обеспечить полноценное питание увеличивающегося населения АЗРФ. В экстремальных условиях Арктики для сельского хозяйства весьма полезными могут стать препараты, полученные из сапропелей на основе инно-

вационных технологий, применимых как в сфере растениеводства — с целью обогащения полезными соединениями бедных гумусовым веществом северных почв, так и в животноводстве и оленеводстве — в виде биологически активных добавок, способствующих приросту веса и укреплению иммунной системы молодняка [39]. Всё это способствовало бы решению поставленной в рамках Программы по освоению АЗРФ задачи увеличения местного производства сельскохозяйственного сырья, поэтому на изучение запасов сапропеля в арктической зоне и возможностей его использования и сохранения следует обратить определённое внимание.

Заметный интерес может представлять и туристическо-рекреационный потенциал арктических озёр, базирующийся на их необычайной, строгой красоте, рыбном богатстве, наличии на их акватории множества водоплавающих птиц, а по берегам — диких зверей. В привязке к озёрам, на которых может быть организована лицензионная любительская рыбная ловля и охота, а также к водоёмам, имеющим эстетическое, культурно-историческое, культурно-этнографическое и экологическое значение, могут быть созданы туристическо-рекреационные кластеры. При современной слабой транспортной инфраструктуре отдых на озёрах представляет интерес преимущественно для живущего на Севере населения. Однако строительство дорог и развитие аэропортовых комплексов, запланированные в рамках Программы по освоению АЗРФ, могут вызвать рост туристического потока, приносящего дополнительные инвестиции. При этом необходимо обеспечить сохранение чистоты северных водоёмов и их биологического разнообразия.

Заканчивая обсуждение вопроса природного потенциала северных озёр, ещё раз подчеркнём, что арктические пресноводные объекты весьма чувствительны к любым видам антропогенных воздействий. В силу упрощённости водных экосистем, каждый присутствующий в них вид гидробионтов по-своему уникален, его гибель может негативно отразиться на состоянии всей экосистемы и её восстановительной способности. Поэтому перед российским научным сообществом стоит ответственная задача сформировать и реализовать междисциплинарную программу работ, направленную на обеспечение рационального использования и сохранности арктических водоёмов в условиях всё возрастающего антропогенного воздействия. Особое внимание в ней должно быть уделено вопросам ресурсного потенциала и экологии северных водоёмов, анализу механизмов перестройки озёрных экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов.

На состояние арктических водоёмов заметное влияние оказывает и потепление климата, наибо-

лее выраженное именно в высоких широтах [40]. Оно приводит к активизации криогенных процессов и оттаиванию вечной мерзлоты на значительных по площадям территориях, что в итоге отражается на озёрном фонде. При этом характер происходящих изменений различен. В зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов Западной Сибири одними специалистами было выявлено увеличение, другими — уменьшение площади термокарстовых озёр, а в зоне прерывистого распространения — сокращение озёрной площади и единичные примеры спуска водоёмов. Для Восточной Сибири отмечались незначительные разнонаправленные изменения: сокращение площади одних и увеличение площади других озёр [41, 42]. В этой связи намеченная в рамках Стратегии система мониторинга и предупреждения негативных последствий деградации многолетней мерзлоты может быть дополнена организацией наблюдений за изменениями озёрного фонда АЗРФ, связанными с активизацией криогенных процессов в регионах хозяйственного освоения.

В зависимости от характера потепления и орфографических особенностей той или иной территории изменение озёрного фонда может продолжаться длительное время, в течение которого представляется возможным наблюдать за появлением новых и переформированием или исчезновением существующих водоёмов. В экосистемах озёр кроме типичных представителей можно ожидать появления нехарактерных для арктических зон видов гидробионтов. При этом на фоне происходящих в озёрах процессов не исключено проявление череды событий инверсионного характера, когда их изначальное развитие в одном направлении будет резко сменяться на противоположное.

Для лимнологов процесс образования озёр и формирования их экосистем представляет значительный научный интерес. Чем-то схожие события, только большего масштаба, происходили в голоцене в период оттаивания и схода последнего четвертичного оледенения, когда формировались озёра северо-западной Европы. Историю тех событий сегодня приходится восстанавливать по косвенным палеолимнологическим сведениям. На фоне происходящих в настоящее время значимых климатических изменений представляется уникальная возможность изучать переформирование озёр и эволюцию водных экосистем АЗРФ в реальном времени, и ею важно грамотно воспользоваться. По нашему мнению, наблюдения за названными процессами можно включить в сферу деятельности на особо охраняемых природных территориях, уже созданных и планируемых. При этом важно, чтобы наблюдения носили междисциплинарный комплексный характер и кроме водной акватории осуществлялись также

на водосборе, памятуя, что водоём и его водосбор по существу представляют единую динамически связанную природную систему. Научно-исследовательские работы целесообразно проводить силами создаваемых в арктических регионах научно-образовательных центров. Это позволит повысить уровень подготовки специалистов в области рационального использования и охраны природной среды для работы в АЗРФ.

Кроме наблюдений за состоянием озёр и их экосистем желательнее также организовать мониторинг изменений озёрного фонда АЗРФ и её отдельных регионов. Для этого необходимо, во-первых, скоординировать его с намеченной в рамках Стратегии развития АЗРФ системой мониторинга и предупреждения негативных последствий деградации многолетней мерзлоты и, во-вторых, включить его в план работ по развёртыванию высокоэллиптической космической системы, обеспечивающей получение гидрометеорологических данных высокого временного разрешения по полярному региону Земли. Такая система планируется к запуску на втором этапе реализации стратегии в 2025–2030 гг.

* * *

Планируемое регулярное повышение доли внутренних затрат на научные исследования в Арктике и инвестиций в основной капитал, направленных на охрану и рациональное использование природных ресурсов, требует активного обсуждения и поддержки научной общественностью. Предложенные шаги полностью отвечают задачам, поставленным в рамках научно-технологического обеспечения Стратегии развития АЗРФ, охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности Арктической зоны. На наш взгляд, их реализация будет способствовать снижению и предотвращению негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду Арктической зоны Российской Федерации.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по теме № 0154-2019-0004 “Закономерности распределения озёр по территории Евразии и оценка их водных ресурсов”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная программа Российской Федерации “Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации”. Утверждена постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2014 г., № 366 (в редакции постановления Правительства РФ от 31 августа 2017 г., № 1064). <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>
2. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 г. Утверждены Указом Президента РФ от 5 марта 2020 г., № 164. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73606526/#1000>
3. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. Проект, одобренный на оперативном совещании Совета Безопасности Российской Федерации от 26 декабря 2019 г. (протокол от 3 января 2020 г.) и внесённый в Правительство РФ 07.05.2020.
4. Румянцев В.А., Измайлова А.В., Крюков Л.Н. Состояние водных ресурсов озёр Арктической зоны Российской Федерации // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. № 1. С. 84–100.
5. Измайлова А.В. Водные ресурсы озёр Российской Федерации // География и природные ресурсы. 2016. № 4. С. 5–14.
6. Крохин Е.М., Семенович Н.Н. Материалы к познанию оз. Умбозера (гидрохимическая характеристика, прозрачность, планктон и бентос) / Материалы к изучению вод Кольского п-ва. Апатиты, 1940. Сб. № 1. Рукопись. Фонды Кольского НЦ АН СССР. С. 151–191.
7. Семенович Н.Н. Гидрологические исследования озера Имандра в 1930 г. / Матер. к изучению водоёмов Кольского п-ва. Мурманск, 1940. Сб. 1. С. 98–150.
8. Шапошникова Г.Х. Материалы по питанию рыб озёр Имандра и Умбозера / Материалы к изучению вод Кольского п-ва. Апатиты, 1940. Сб. № 1. Рукопись. Фонды Кольского НЦ АН СССР. С. 279–292.
9. Вельтищев П.А. Фауна и флора литорали Ловозера в связи с питанием рыб озера / Материалы к изучению вод Кольского п-ова. Апатиты, 1940. Сб. № 1. Рукопись. Фонды Кольского НЦ АН СССР. С. 338–365.
10. Румянцев В.А., Дробкова В.Г., Измайлова А.В. Озёра европейской части России. СПб.: Изд-во Лема, 2015.
11. Иванов В.В., Румянцева Е.В. Многолетняя изменчивость годового стока воды и химических веществ Норило-Пясинской водной системы в условиях антропогенного воздействия // Вода: химия и экология. 2011. № 12. С. 23–28.
12. Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году”. М.: Минприроды России; НИИ-Природа, 2017.
13. Кашулин Н.А., Денисов Д.Б., Валькова С.А. и др. Современные тенденции изменений пресноводных экосистем Евро-Арктического региона // Труды Кольского НЦ РАН. Прикладная экология севера. 2012. № 1. С. 6–54.
14. Моисеенко Т.И., Яковлев В.А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л.: Наука, 1990.
15. Особенности структуры экосистем озёр Крайнего Севера (на примере озёр Большеземельской тунд-

- ры) / Отв. ред. В.Г. Драбкова, И.С. Трифонова. СПб.: Наука, 1994.
16. *Даувальтер В.А., Хлопцева Е.В.* Гидрологические и гидрохимические особенности озёр Большеземельской тундры // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11. № 3. С. 407–414.
 17. Государственный доклад “О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2011 году”. М.: НИА-Природа, 2012.
 18. *Ермилов О.М., Грива Г.И., Москвин В.И.* Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002.
 19. *Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А.* Формирование химического состава вод озёр в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука, 2010.
 20. *Агбалян Е.В., Хорошавин В.Ю., Шинкаур Е.В.* Оценка устойчивости озёрных экосистем Ямало-Ненецкого автономного округа к кислотным выпадениям // Вестник Тюменского гос. ун-та. Экология и природопользование. 2015. Т. 1. №1 (1). С. 45–54.
 21. *Измайлова А.В.* Озёра России: закономерности распределения, ресурсный потенциал. СПб.: Папирус, 2018.
 22. *Ревич Б.А., Харьковская Т.Л., Кваша Е.Л., Никитина С.Ю.* Особенности смертности и продолжительности жизни городского населения арктических регионов России в 1999–2009 годах // Экология человека. 2011. Вып. 8. С. 15–24.
 23. Здравоохранение в России. Статистический сборник. М.: Росстат, 2017.
http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1139919134734 (дата обращения 30.01.2018).
 24. *Калинкина Н.М., Кухарев В.И., Морозов А.К., Рябинкин А.В.* Современное состояние водоёмов системы реки Кенти // Водная среда Карелии: исследования, использование и охрана. Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2003. С. 53–59.
 25. Состояние водных объектов Республики Карелия по результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2007.
 26. *Малютин Е.И., Ширококов В.Н.* Минерально-сырьевые ресурсы Архангельской области // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 4. С. 3–10.
 27. *Мурашко О.А.* Коренные народы Арктики и “народы Севера”: история, традиции, современные проблемы // Арктика: экология и экономика. 2011. № 3(3). С. 90–105.
 28. Биоразнообразие экосистем Полярного Урала. Сыктывкар, Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2007.
 29. *Патова Е.Н., Стерлягова И.Н., Сивков М.Д. и др.* Разнообразие и количественные характеристики фитопланктона разнотипных озёр Приполярного Урала (Северо-Восток европейской части России) // Альгология. 2014. Вып. 24(3). С. 404–408.
 30. *Якубсон К.И., Корниенко С.Г., Разумов С.О. и др.* Геоиндикаторы изменения окружающей среды в районах интенсивного освоения нефтегазовых месторождений и методы их оценки // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика. Электронный научный журнал. 2012. Вып. 2. № 6. 20 с. <http://www.oil-gasjournal.ru>
 31. География озёр Таймыра / Отв. ред. В.Н. Адаменко, А.Н. Егоров. Л.: Наука, 1985.
 32. *Фёдоров Г.Б., Большаков Д.Ю.* Эволюция озёр п-ова Таймыр в позднем неоплейстоцене и голоцене / Тезисы докладов итоговой сессии Учёного совета ААНИИ. Вып. 12. Санкт-Петербург, 2002. С. 91–92.
 33. *Легостаева Я.Б., Сивцева Н.Е., Дягилева А.Г. и др.* Эколого-геохимическая оценка состояния территорий наиболее крупных населённых пунктов Якутии // Проблемы региональной экологии. 2011. № 4. С. 49–54.
 34. Природа и ресурсы Чукотки. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1997.
 35. *Черешнев И.А.* Пресноводные рыбы Чукотки. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2008.
 36. *Мельниченко И.П., Богданов В.Д.* Оценка изменения рыбного населения водоёмов и водотоков полярной части Урала и Западного Ямала // Аграрный вестник Урала. 2008. № 10. С. 85–87.
 37. *Романов В.И.* Ихтиофауна плато Путорана // Фауна позвоночных животных плато Путорана. М.: Наука, 2004. С. 29–89.
 38. *Румянцев В.А., Митюков А.С., Крюков Л.Н., Ярошевич Г.С.* Уникальность свойств гуминовых веществ сапропеля // Доклады академии наук. 2017. Т. 473. № 6. С. 1–4.
 39. *Митюков А.С., Румянцев В.А., Крюков Л.Н., Ярошевич Г.С.* Сапропель и перспективы его использования в аграрном секторе экономики // Общество, среда, развитие. 2016. № 2. С. 110–114.
 40. *Логинов В.Ф.* Глобальные и региональные изменения климата: причины, последствия и адаптация хозяйственной деятельности // География и природные ресурсы. 2014. Вып. 1. С. 13–24.
 41. *Кравцова В.И., Быстрова А.Г.* Изменение размеров термокарстовых озёр в различных районах России за последние 30 лет // Криосфера Земли. 2009. № 2. С. 16–26.
 42. *Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А.* Динамика площадей термокарстовых озёр в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томского университета. 2008. № 311. С. 185–189.

ИНТЕРНАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ВАЛЮТ В СТРАНАХ БРИКС

© 2021 г. Д. И. Кондратов

Институт экономики РАН, Москва, Россия

E-mail: dmikondratov@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.09.2020 г.

После доработки 02.10.2020 г.

Принята к публикации 24.11.2020 г.

Происходящая сейчас масштабная трансформация глобального хозяйства, обусловленная прежде всего экономическим подъёмом ведущих развивающихся стран, формирует многополярную карту мира с новыми центрами силы – странами БРИКС (Бразилия, Россия, Индия, Китай и Южная Африка). Благодаря возросшей промышленной и финансовой мощи эти страны входят в число ключевых игроков на международных рынках товаров, услуг и капиталов, оказывая значительное, а порой и определяющее воздействие на их функционирование. Однако было бы преждевременно говорить, что уже в ближайшие годы представители объединения смогут добиться баланса сил в валютно-кредитных отношениях с США и Евросоюзом, преодолев их многолетнее доминирование в мировых финансах. Достижение такого баланса станет возможным лишь по мере превращения денежных единиц стран БРИКС во влиятельные резервные активы, способные потеснить доллар США и евро в обслуживании мирохозяйственных связей, и создания в них крупных международных финансовых центров, которые могут на равных конкурировать с Лондоном или Нью-Йорком.

Ключевые слова: факторы роста стран БРИКС, дисбаланс экономик стран БРИКС, Новый банк развития БРИКС, интернационализация валют стран БРИКС, международные резервные валюты, валютная политика КНР, перспективы интернационализации юаня, российско-китайские торговые отношения.

DOI: 10.31857/S0869587321020031

За последние два десятилетия в расстановке сил в мировом хозяйстве произошли существенные изменения, обусловленные значительным ростом экономической мощи относительно небольшой группы развивающихся государств, которые принято называть странами с формирующимися рынками (СФР). Быстрые темпы прироста ВВП в СФР, как правило, сочетаются с активной трансформацией отраслевой и социальной структуры, что придаёт их развитию высо-

кий динамизм [1]. Благодаря этому в 2000–2020 гг. СФР, по данным компании IHS Markit, смогли заметно укрепить свои позиции на международных рынках товаров, услуг и капиталов, серьёзно потеснив традиционных лидеров – развитые страны (рис. 1). Доля СФР в мировом ВВП¹ выросла с 39.1% в 2000 г. до 55.8% в 2020 г.; соответственно, увеличился и их вклад в темпы прироста мирового ВВП с 1.4 процентного пункта (п.п.) в 2001 г. до 2.1 п.п. в 2019 г.

Ключевыми государствами, обеспечивавшими в 2000–2020 гг. 52% (52.4%, включая ЮАР) прирост мирового ВВП, стали Китай, Индия, Россия и Бразилия – четыре крупнейшие страны с формирующимися рынками, входящие вместе с ЮАР в интеграционное объединение БРИКС. Высокие темпы экономического роста, достигавшие в 2000–2020 гг. в КНР в среднем 8.6% в год, в Индии – 5.9%, в России, Бразилии и ЮАР – 1.8–2.7%, позволили им значительно нарастить свои

¹ Здесь и далее ВВП рассчитан по паритету покупательной способности (ППС) в постоянных ценах 2015 г.



КОНДРАТОВ Дмитрий Игоревич – кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник ИЭ РАН.

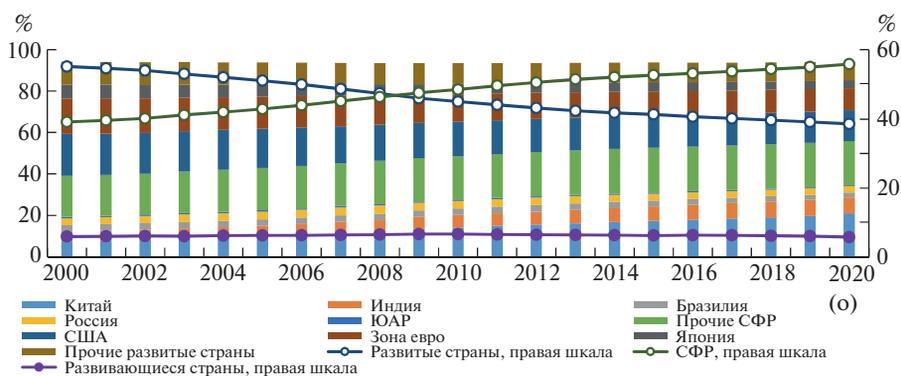


Рис. 1. Структура мирового ВВП (по ППС в постоянных ценах 2015 г.)

Источник: IHS Markit.

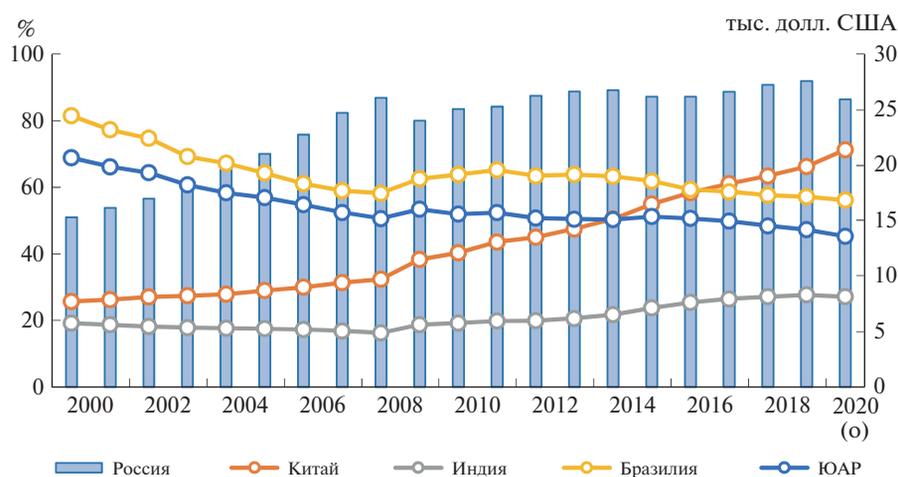


Рис. 2. ВВП (по ППС в постоянных ценах 2015 г.) на душу населения стран БРИКС (Россия = 100)

Источник: IHS Markit.

доли в глобальном производстве товаров и услуг, войти в число стран-лидеров по объёму привлекаемых прямых иностранных инвестиций и накопленных международных резервов, существенно улучшить ситуацию в бюджетной и социальной сферах, многократно увеличить масштабы внутреннего финансового рынка. Эти успехи стали следствием проведённых в 2000-е годы в странах БРИКС глубоких институциональных реформ, способствовавших более полному раскрытию потенциала национальных хозяйств, который ранее не использовался по причинам структурного характера — из-за социалистических реформ в Китае, чрезмерного импортозамещения в Бразилии и Индии, политики апартеида в ЮАР.

Перечень факторов роста в отдельных странах БРИКС различен [2]. Экономический подъём Китая и Индии базировался прежде всего на поддержке высоких показателей нормы сбережения и накопления, а также привлечении многочисленных и

дешёвых трудовых ресурсов в экспортных производствах обрабатывающей промышленности. Бразилия и ЮАР — крупнейшие сырьевые экспортёры. Кроме того, большое значение для хозяйственной конъюнктуры имеют осуществляемые властями этих стран социальные программы, стимулирующие расширение конечного потребления домохозяйств, в том числе беднейших слоёв населения. Россия в 2000-е годы наращивала экспорт топливно-энергетических товаров и использовала потенциал ёмкого внутреннего потребительского рынка. Благодаря росту экономики заметно улучшилось благосостояние населения, по уровню которого наша страна, несмотря на замедление деловой активности в последние годы, опережает другие государства объединения (рис. 2)².

² Несмотря на замедление экономической активности в России, реальный ВВП на душу населения РФ (по ППС в ценах 2015 г.) в 2020 г., по оценкам IHS, составил 25.913 тыс. долл. США, что на 28.7% выше, чем в Китае.

Вопреки достигнутому прогрессу, в экономиках стран БРИКС сохраняются серьёзные дисбалансы, представляющие угрозу для их устойчивого развития. В Китае в силу институциональных факторов валовое накопление основного капитала чрезмерное, хозяйству свойственна ориентация на потребительский спрос, а экспорт товаров и услуг уже не служит опорой для прироста ВВП. Для Индии характерны диспропорции между накоплением и потреблением, которые воспроизводятся во многом из-за сохраняющейся бедности значительной части населения. В Бразилии и ЮАР, напротив, динамика ВВП определяется в первую очередь состоянием внутреннего спроса, тогда как показатели накопления и сбережения в них относительно невелики. В России дефицита сбережений в целом нет, однако имеющиеся финансовые ресурсы недостаточно эффективно работают на инвестирование, вследствие чего экономика сильно зависит от экспорта минеральных продуктов.

Всем странам БРИКС присущ также ряд общих социально-экономических проблем, в число которых входят неразвитость важнейших общественных институтов, большая доля теневого сектора, высокий уровень коррумпированности государственного аппарата, санкции, значительное социальное расслоение, усиливающаяся деградация экологических систем в районах промышленного производства и добычи сырья. Отмеченные трудности серьёзно ухудшают состояние предпринимательского климата в странах БРИКС, отражением чего служат их невысокие позиции в международных рейтингах ведения бизнеса. Так, в рейтинге *Doing Business* Россия занимает лишь 28 место среди 190 стран, Китай – 31, Индия – 63, ЮАР – 84 и Бразилия – 124.

Уязвимые места экономик БРИКС отчётливо проявились в период пандемии-2020. На начальном этапе некоторые эксперты выражали надежду на “расщепление” экономических циклов в развитой и развивающейся частях мира, полагая, что на фоне рецессии в западных странах СФР смогут сохранить автономную динамику роста и выступить альтернативным локомотивом мирового хозяйства. Однако этого не произошло. В экономиках стран БРИКС в первом и втором кварталах 2020 г. наблюдалось резкое снижение ВВП. И если Китай, по прогнозу IHS, сумеет сохранить положительную динамику ВВП (на уровне 1.5%), то в Индии, ЮАР, Бразилии и России его объём сократится и будет составлять –6.9, –8.9, –7.0 и –6.0% соответственно.

Благодаря крупным антикризисным программам, а также улучшению глобальной конъюнктуры положительная динамика ВВП в странах БРИКС в третьем и четвертом кварталах (в Китае – во втором) начала восстанавливаться. Но после-

довавшее после восстановительного роста уже-сточение финансовых условий приведёт в 2022–2023 гг. к замедлению темпов роста ВВП. В последние годы точки перелома в процессе прохождения внутривозрастных циклов в ведущих странах СФР по-прежнему совпадали с изменением конъюнктуры в развитых странах, что опровергает гипотезу о “расщеплении” их экономических циклов.

Россия вследствие недостаточно диверсифицированной структуры национального производства, в которой непропорционально большую роль играют добыча и экспорт топливно-энергетических ресурсов, оказывается едва ли не самой уязвимой, если оценивать страны БРИКС с точки зрения возможного ухудшения внешней конъюнктуры. Более того, как показывают невысокие темпы прироста ВВП РФ в 2013–2019 гг., накопившиеся в экономике отраслевые и секторальные диспропорции не позволяют стране набрать высокую динамику даже при относительно благоприятной ценовой ситуации на международных рынках сырья. Всё это делает задачу модернизации и структурной перестройки отечественного хозяйства, направленной на обеспечение его устойчивого и сбалансированного развития, как никогда актуальной.

Модернизация потребует определённой корректировки национальной экономической политики. В отличие от других стран БРИКС, в России она сконцентрирована преимущественно на поддержании макроэкономической стабильности. При безусловной важности этой цели в перспективе основные усилия государства следовало бы направить на стимулирование качественных сдвигов в отечественном хозяйстве – наращивание выпуска высокотехнологичной и наукоёмкой продукции, повышение производительности труда, увеличение доли инвестиций в основной капитал, подъём малого и среднего инновационного бизнеса. Переход к политике модернизации и промышленного развития, в свою очередь, предполагает более активное, последовательное и системное использование государством различных инструментов поддержки приоритетных отраслей и секторов экономики, включая налоговые и таможенные льготы, государственно-частное партнёрство, предоставление кредитов, гарантий и инвестиций через федеральные и региональные институты развития.

Дополнительные возможности для ускорения процессов структурной перестройки экономики РФ открывает её политическое и экономическое сближение с ведущими развивающимися государствами – участниками интеграционного объединения БРИКС. В частности, оно создаёт предпосылки для расширения экспансии отечественного бизнеса на рынки этих стран, особенно в

таких сегментах, как энергетика, аграрное производство, металлургия, транспортное и специальное машиностроение, финансово-банковская деятельность. Укрепление торгового и инвестиционного сотрудничества в указанных областях, где Россия обладает определёнными конкурентными преимуществами, будет способствовать формированию новых полюсов роста в отечественной экономике и усилению позиций страны на международных рынках несырьевой продукции.

БРИКС: от мечты к реальности. Ещё в 2001 г. эксперты американского инвестиционного банка Goldman Sachs объединили четыре крупнейшие страны с формирующимися рынками — Бразилию, Россию, Индию и Китай — в группу БРИК³. В 2006 г. в Нью-Йорке (США) на полях Генеральной ассамблеи ООН состоялась первая встреча стран, входящих в объединение. Её участники выразили намерение продолжать контакты в ходе международных форумов. В 2008 г. в Японии главы государств и правительств четырёх стран договорились о взаимодействии по актуальным экономическим проблемам.

16 июня 2009 г. на первом официальном саммите в Екатеринбурге главы государств сформулировали цель объединения — развитие последовательного, активного и открытого диалога и взаимовыгодного сотрудничества. С того года встречи лидеров стали носить регулярный характер, постепенно складывалась структура экономического сотрудничества государств, согласовывались интересы стран объединения с остальным миром, прежде всего с Западной Европой и США. После присоединения в 2011 г. пятого участника — ЮАР — содружество обрело новое название — БРИКС. Предполагается, что к 2050 г. при сохранении экономической динамики суммарный ВВП стран БРИКС будет в 2.4 раза больше (или составлять 46.2% мирового ВВП), чем у развитых стран — членов Большой семёрки.

Поступательное развитие стран объединения в 2010–2019 гг., сохранение частью из них положительной динамики и во время пандемии побуждают некоторых международных аналитиков, в частности из Организации экономического со-

³Принято считать, что отправной точкой создания объединения служит 2001 г., когда в докладе банка Goldman Sachs «Мечтая вместе с БРИК. Путь к 2050 году» впервые появился термин BRIC. Таким образом, были обозначены четыре страны с наибольшим на тот момент потенциалом экономического роста — Бразилия, Россия, Индия и Китай. Термин получил распространение среди финансовых компаний, которые с начала 2000-х годов стали создавать инвестиционные фонды, специализирующиеся на операциях с ценными бумагами этих государств. В 2006 г. американская компания Dow Jones Indexes ввела биржевой индекс БРИК-50, охватывавший по 15 ведущих компаний Бразилии, Китая, Индии и пять российских, акции которых были наиболее ликвидны на мировых биржах.

трудничества и развития (ОЭСР), рассматривать этот блок как противовес развитым странам с их низкими темпами экономического роста на фоне затянувшейся рецессии.

В БРИКС нет секретариата, устава и других официально установленных норм. Государства консолидировались для создания модели нового мира, которая позволит им выбрать путь развития [3].

Официальные саммиты БРИКС проходят ежегодно в одной из стран содружества. Соблюдается определённая очерёдность: Бразилия — 2014 г., Россия — 2015 г., Индия — 2016 г., Китай — 2017 г., ЮАР — 2018 г., Бразилия — 2019 г., Россия — Россия⁴. Председателем назначается страна-организатор саммита, она обеспечивает координацию текущей деятельности. Сейчас в рамках БРИКС существует более 20 форматов взаимодействия, в том числе по направлениям энергоэффективности, изменение климата, международные финансовые институты.

В 2015 г. завершился процесс создания пула валютных резервов, предназначенных для использования в чрезвычайных ситуациях, и начал функционировать Новый банк развития БРИКС с акционерным капиталом в 100 млрд долл. США.

Особенность БРИКС состоит в том, что каждый член объединения одновременно является ведущей экономикой на своём континенте или в регионе: Россия — в СНГ, Бразилия — в МЕРКОСУР — общем рынке стран Латинской Америки, ЮАР — в Сообществе развития Юга Африки, Индия — в Южно-Азиатской ассоциации регионального сотрудничества, Китай — в Шанхайской организации сотрудничества. В указанных региональных интеграционных группировках страны, будучи партнёрами БРИКС, могут образовать БРИКС+ [3].

В 2017 г. китайское руководство пригласило к диалогу в расширенном формате представителей 28 государств — Индонезии, Малайзии, Филиппин, Камбоджи, Египта, Нигерии, Эфиопии, Кении, Аргентины, Чили, Мексики и других. Предполагается, что с помощью БРИКС+ будет сформирован широкий круг компаньонов объединения, сотрудничающих с ним на постоянной основе.

Новый банк развития БРИКС. К перспективным направлениям сотрудничества относятся сферы энергетики и финансов, по которым объединение открывает дополнительные инвестиционные возможности. Важную роль в этом играет Новый банк развития БРИКС. Его основная задача заключается в кредитовании проектов в области инфраструктуры и устойчивого развития в

⁴Саммит БРИКС должен был состояться 21–23 июля 2020 г. в Санкт-Петербурге, но из-за эпидемиологической обстановки, связанной с распространением коронавирусной инфекции, перенесён.

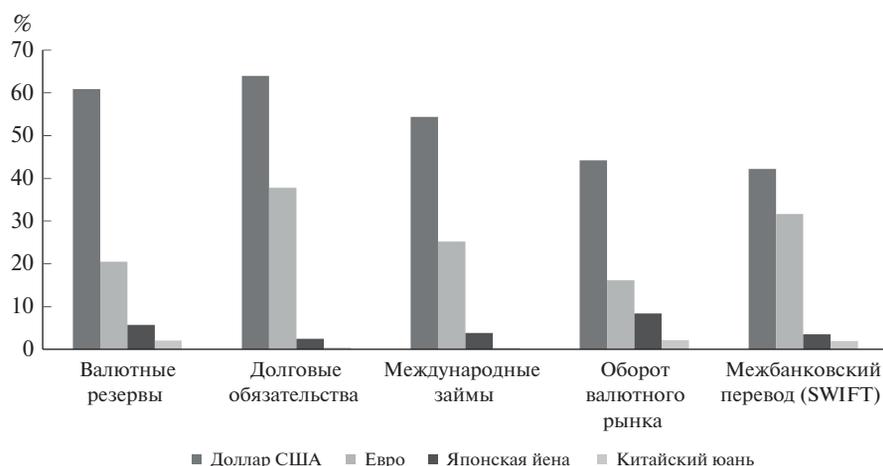


Рис. 3. Доля национальных валют в официальных резервах, мировой торговле, международных заимствованиях и долгового рынка в 2019 г.

Источник: Европейский центральный банк.

государствах – членах БРИКС, а также в развивающихся странах. С 2016 г., когда банк начал операционную деятельность, одобрено более 20 проектов на общую сумму 5.1 млрд долл. США. По пять – в Китае, Индии и России, четыре – в Бразилии, два – в ЮАР.

В 2016 г. утверждены первые семь проектов, в том числе по возобновляемым источникам энергии, на сумму, превышающую 1.5 млрд долл. США. Один из них – строительство в Карелии двух гидроэлектростанций – Белопорожской ГЭС-1 и Белопорожской ГЭС-2 стоимостью 100 млн долл. и суммарной мощностью 50 МВт, которые входят в Кемский каскад ГЭС. Проект малых гидроэлектростанций стал первым в России, который профинансировал Новый банк развития БРИКС. На строительстве объекта, начавшемся в 2016 г., применяются новейшие технологии, которые увеличивают срок эксплуатации оборудования и КПД станций. При этом большая часть оборудования, включая турбины и электрогенераторы, производится в России. В конце 2019 г. на обеих электростанциях успешно осуществлён пробный запуск гидроагрегатов.

В 2018 г. банк одобрил четыре инфраструктурных проекта в Бразилии, Индии, Китае и Южной Африке на сумму свыше 1 млрд долл. Согласно ежегодному докладу New Development Bank Annual Report 2019, в операционном портфеле Нового банка развития БРИКС находится 51 проект общей стоимостью 14.9 млрд долл.

Банк получил высокие кредитные рейтинги AA+ от S&P и Fitch, открыв для себя доступ к международному рынку облигаций. В 2018 г. он поддержал установку объектов возобновляемой энергии совокупной генерируемой мощностью 1.5 тыс. МВт. В утверждённой стратегии развития

на 2017–2021 гг. указывается, что общий объём одобренных банком кредитов к 2021 г. может составить от 32 до 44 млрд долл. Инвестиционное сотрудничество стран объединения в рамках Нового банка развития БРИКС, по мнению экспертов, будет способствовать повышению степени защиты инвестиций и аккумуляции средств на проекты, которые представляют интерес для нескольких государств.

За последние полтора десятилетия ведущие развивающиеся страны сумели существенно укрепить свой экономический потенциал, превратившись в новые полюсы роста мировой экономики. Быстрое пополнение экспортных доходов и иностранных инвестиций позволило им заметно улучшить состояние платёжных балансов, накопить крупные валютные резервы и значительно повысить внутреннюю финансовую стабильность. Это, в свою очередь, способствовало последовательной отмене валютных ограничений, широко применявшихся развивающимися государствами для поддержания устойчивости национальных валют и защиты внутреннего финансового рынка в условиях слабых платёжных балансов.

Сейчас в мировой валютной системе доминируют три валюты – доллар США, евро и японская иена, в которых проводится более 80% расчётов в международной торговле, а также номинируется около 90% официальных резервных активов и мировых долговых обязательств (рис. 3) [4–6]. Господство в валютной сфере – один из главных факторов сохранения лидирующих позиций развивающихся государств в международных финансах, дающих им возможность замыкать на себе основные глобальные потоки капитала. Кроме того, США на протяжении многих лет активно исполь-

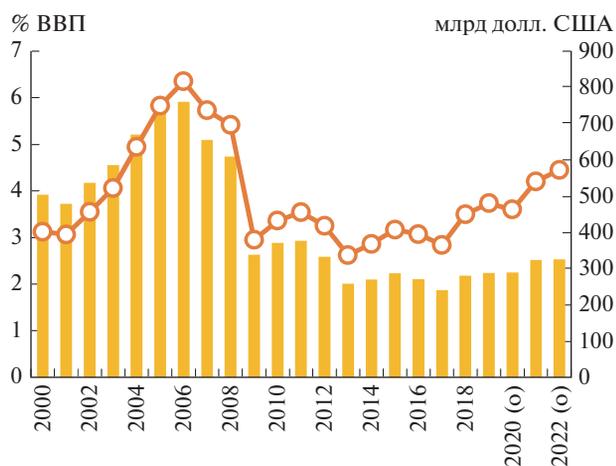


Рис. 4. Дефицит счёта текущих операций платёжного баланса США

зуют статус доллара как ключевой мировой валюты для покрытия хронического дефицита текущих операций платёжного баланса (рис. 4), размещая среди иностранных инвесторов свои долговые обязательства. Растущий с 2012 г. корпоративный и государственный долг США, достигший к концу первого квартала 2020 г. 78.3 и 101.6% ВВП соответственно (рис. 5), представляет значительную угрозу для стабильности экономик других государств, в том числе СФР, где широко применяют доллар как для обслуживания внешнеторговых контрактов, так и во внутренних финансовых транзакциях. Это делает задачу интернационализации валют стран БРИКС и формирования полицентрической мировой валютной системы ещё более актуальной.

Полная или частичная либерализация валютного законодательства обеспечила условия для продвижения валют крупнейших развивающихся стран на международные рынки. Их начинают применять при трансграничном кредитовании и эмиссии долговых ценных бумаг. Под влиянием растущей нестабильности валютной системы и усиливающейся волатильности курсов ключевых мировых валют наметилась тенденция вовлечения денежных единиц развивающихся стран во внутрирегиональную, в том числе приграничную, торговлю.

Масштабы использования валют развивающихся государств в международном обороте пока невелики и не соответствуют возросшему вкладу этих стран в мировое производство и экспорт. Так, по данным Банка международных расчётов, совокупная доля валют России, Китая, Индии, Бразилии и ЮАР в общем обороте глобального валютного рынка в 2019 г. составляла 9.3% (рис. 6), при том что их общий вклад в глобальный ВВП (данные за 2020 г. по ППС в постоянных ценах 2015 г.) оценивался в 34.6%.

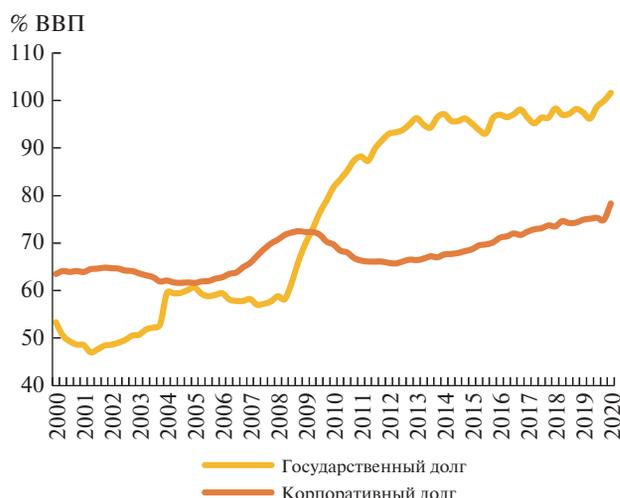


Рис. 5. Корпоративный и государственный долги США
Источники: ОЭСР, ФРС США и Банк международных расчётов.

Причины слабой интернационализации национальных валют развивающихся стран хорошо известны. Импортируемое ими сырьё традиционно котируется в долларах США. Отечественные компании предпочитают оперировать в долларах, принимая таким образом на себя валютный риск. Существуют некоторые ограничения на международные финансовые операции в национальных денежных единицах. Финансовые возможности нерезидентов в плане управления рублёвыми и иными активами крайне ограничены из-за неразвитости рынка капитала. Наконец, общеэкономическая среда, включающая налоговую и законодательную системы, не благоприятствует использованию валют стран БРИКС нерезидентами.

В перспективе, по мере преодоления этих барьеров, следует ожидать значительного повышения роли национальных валют крупнейших развивающихся стран в обслуживании международной торговли и трансграничных потоков капитала, что позволит им занять заметное в современной валютной системе место, соответствующее их значению для глобальной экономики.

Валютная политика КНР. Власти Китая стремятся всесторонне поддерживать национальный экспорт. Это обеспечивается прежде всего сохранением на протяжении многих лет заниженного курса юаня по отношению к валютам основных торговых партнёров. Сегодня курс юаня к доллару, по оценкам ОЭСР, занижен на 20–25%, что стимулирует не только китайский экспорт, но и масштабный приток в страну прямых капиталовложений из-за рубежа, удешевляя для иностранных предпринимателей стоимость реализации инвестиционных проектов на территории Китая. В то же время эта политика препятствует интернационализации юаня и его широкому использо-

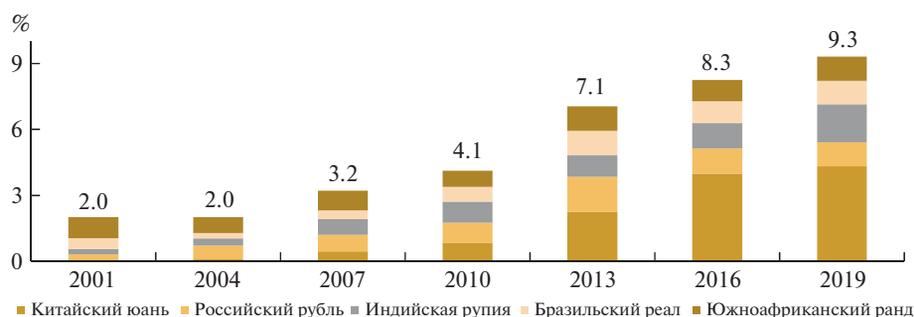


Рис. 6. Доля валют стран БРИКС в общем обороте валютного рынка

Источник: [13].

ванию в мировой торговле и финансах. Опасаясь масштабного притока в страну спекулятивного капитала и усиления давления на курс национальной валюты, создания неконтролируемого международного рынка юаня, способного при неблагоприятной внешней конъюнктуре подорвать внутреннюю финансовую стабильность, китайские власти сохраняют многочисленные ограничения по операциям с этой денежной единицей.

Несмотря на поддержание жёстких валютных ограничений, руководство КНР не предпринимает шаги по интернационализации юаня, вовлекая его, в частности, в обслуживание приграничной торговли с сопредельными странами посредством заключения межгосударственных соглашений о взаимном обмене национальных валют. Юань уже стал основной платёжной валютой в приграничной торговле Китая с Монголией, Вьетнамом, Мьянмой и Непалом. Всё шире его применяют и в торговле с Россией, Филиппинами и Южной Кореей.

Ещё один заметный шаг на пути к интернационализации китайской валюты — разрешение властей страны на проведение отдельных операций с юанем на территории Гонконга, резиденты которого теперь могут использовать его при денежных переводах, операциях по банковским картам и открытии депозитов в местных банках. В свою очередь, китайские компании и банки получили возможность размещать на Гонконгской фондовой бирже облигационные займы в юанях, что открыло путь для развития в этом административном районе рынка финансовых инструментов, номинированных в китайской валюте. Данный процесс может заметно ускориться после планируемого создания единой системы торгов акциями китайских компаний, обращающихся на Гонконгской и Шанхайской фондовых биржах.

Увеличение объёмов финансовых операций в юанях на территории Гонконга сопровождается ростом торговли китайской валютой на мировом рынке. За последние пять лет практически с нуля сформировался международный рынок форвард-

ных контрактов в юанях в Гонконге и Сингапуре, в 2013 г. дневной оборот составлял в среднем 30 млрд долл., или почти половину оборота внутреннего валютного рынка Китая.

После Гонконга ведущие позиции на рынке юаня по таким операциям, как банковские услуги, обменные валютные операции, эмиссия облигаций, предоставление займа и т.д., занимает Лондонский финансовый центр, на втором месте — Парижский финансовый центр. Глава Банка Франции К. Нуайе заявил о намерении развивать оффшорный рынок юаня. Парижский финансовый центр, опирающийся на мощный банковский сектор и отличающийся высокой степенью интернационализации, всегда был склонен к инновациям. Превращаясь в главный оффшорный центр в зоне евро, Франция получает существенные преимущества [7].

С 2011 по 2019 г. объём внешнеторговых операций, номинированных в юанях, вырос на 6.1 п.п. — до 13.8% от общего объёма экспортно-импортных сделок⁵. Китайские партнёры французских предприятий всё чаще предлагают проводить расчёты в юанях. Для этого есть весомые причины. В условиях валютной либерализации курс юаня по отношению к доллару колеблется. Номинируя внешнеторговые контракты в юанях, китайские компании сглаживают риски изменения валютного курса. Местные органы власти поддерживают международные расчёты в юанях различными способами, в частности, с помощью налоговых льгот, упрощения административных процедур и расчётов по экспорту. Кроме того, платёжный цикл при операциях в юанях значительно укорачивается.

Предлагая своим партнёрам вести внешнеторговые операции в юанях, китайские предприятия получают дополнительные коммерческие выгоды, что порой имеет для них решающее значение.

⁵ Доля национальной валюты в обслуживании экспортных и импортных потоков в КНР достигла максимума в 29% в третьем квартале 2015 г. Начиная с третьего квартала 2017 г. по первый квартал 2019 г. этот показатель колебался в коридоре 11–14%.

В целом интернационализация юаня позволяет китайским предприятиям укрепить позиции на внешнем и внутреннем рынках и значительно расширить поле для манёвра. Однако не стоит забывать о рисках, которые усиливаются при расширении международных связей. Так, международная торговля сопряжена с изменениями валютного курса, несоблюдением условий контракта и его аннулированием, транспортными и политическими рисками.

В Китае такой классический финансовый инструмент торговли, как товарные аккредитивы, используется достаточно широко. Товарные аккредитивы, будучи надёжным, понятным и относительно конкурентоспособным инструментом, обеспечивают хорошее покрытие рисков. Однако при больших объёмах внешнеторговых сделок нужны другие финансовые решения, в частности, операции по секьюритизации платежей. Для крупных предприятий и их партнёров в КНР появились новые возможности, например, финансирование всей цепочки поставок (supply chain finance), электронные счёт-фактуры (e-invoices).

На территории континентального Китая счёт в юанях можно открыть для нерезидентов, но сначала надо получить разрешение Государственного валютного управления КНР (SAFE). Этот счёт должен работать исключительно на внешнеторговых операциях. В Гонконге действуют более гибкие правила: если счёт открыт, то средства, размещённые на нём, можно использовать для инвестиций и банковских переводов за пределами континента.

Крупные международные банки предоставляют своим клиентам — экспортёрам и импортёрам — возможность открыть счёт в юанях для финансирования операций с китайскими партнёрами. Обычно они предлагают разнообразные услуги и продукты, связанные с обменом валют, платежами, депозитами, ссудами, финансированием торговли.

Китайские банки, базирующиеся во Франции, и французские банки также предлагают европейским предприятиям свои услуги и продукты, позволяющие упростить их расчёты по внешнеторговым контрактам в юанях. Так, кредиты в юанях на срок 5–7 лет могут идти на инвестиции в Китае или оплату импорта. Благодаря этому европейские предприятия меньше тратят доллары и с большей гибкостью расходуют свои средства.

В 2012 г. Центральные банки КНР и Тайваня подписали соглашение о клиринговых расчётах в юанях, что рассматривается аналитиками как крупнейшее экономическое событие в регионе. Прорывным стало укрепление позиций юаня в финансовых операциях, проводимых в Великобритании — мировом финансовом центре, с оборотом в 4 трлн долл. в день. Согласно Банку Англии, Соединённое Королевство в феврале 2013 г. первой из стран Большой семёрки получило воз-

можность подписать соглашение о валютном свопе (обмене) с Народным банком Китая. Сделка позволяет Банку Англии поставлять до 400 млрд юаней (около 64 млрд долл.) другим банкам. По словам начальника отдела межбанковских операций Standard Chartered Plc Ф. Линтерна, “это событие полностью перевернёт финансовые рынки” [8].

В марте 2013 г. Народный банк Китая и Европейский центральный банк подписали своповое соглашение на 45 млрд долл. Ещё раньше, 30 марта 2013 г., монетарные власти КНР заключили валютный своп с Бразилией на сумму 30 млрд долл. Предусматривается, что в случае дестабилизации международной финансовой системы эти государства смогут предложить другой стороне заёмные средства в валюте партнёра, не используя при этом долларовые резервы. Китай постепенно добивается упрочения юаня в международных финансах.

В июне 2011 г. КНР и Россия подписали Соглашение о переходе к расчётам в национальных валютах. В качестве первого шага начались торги рублями на бирже в Китае и юаневые торги в Москве. Российский банк ВТБ 24 октября 2011 г. открыл вклады в юанях для юридических лиц.

В целях повышения международного доверия валютных тяжеловесов к юаню КНР увеличивает национальные резервы монетарного золота, накопленные запасы которого на конец второго квартала 2020 г. составляли, по данным World Gold Council, 1948.3 т (5.6% мировых накопленных). Увеличением золотого запаса Китай хочет обезопасить свои резервные активы, которые оцениваются в 3.244 трлн долл., и минимизировать риски на пути утверждения юаня в качестве мировой валюты. В рамках глобальной валютно-финансовой политики Китай стремится заложить институциональный базис и продвинуть свои интересы в тех мировых финансовых институтах, где традиционно главенствуют США и страны Западной Европы (МВФ и Всемирный банк).

Экспансионистская денежно-кредитная политика властей КНР способствовала быстрому развитию рынка корпоративного долга. Тем не менее Китай по объёму корпоративных облигаций (около 1.9 трлн долл.) на конец 2019 г. существенно уступал Европе (2.9 трлн долл.) и США. Рынок облигационных заимствований в Соединённых Штатах составлял около 6 трлн долл., или 44.4% мирового рынка корпоративных облигаций.

Большое значение КНР придаёт формату БРИКС и активно участвует в работе этого объединения, поскольку межгосударственный механизм служит важной платформой реализации национальных и глобальных интересов и соответствует концепции внешней политики страны. Одной из причин создания БРИКС стало доминирование западных стран в вопросах мирового

развития, при этом другие государства испытывали дискриминационное давление. Поэтому Китай и начал искать пути продвижения своих интересов на мировой арене, полагая, что международному сообществу необходимо создавать для разных стран равноправные условия.

В объединении БРИКС КНР интересуется в первую очередь финансовая система. Одну из своих задач Поднебесная видит в том, чтобы увеличить долю юаня в межгосударственных расчётах и сделать его международной валютой, что позволит снизить зависимость стран-участниц от МВФ. Государства выступают вместе, стремясь ограничить господствующую роль США. В этой связи ещё в 2014 г. были созданы Резервный фонд БРИКС и Новый банк развития БРИКС. Объём фонда составляет 100 млрд долл.: доля Китая — 41 млрд долл., России, Индии и Бразилии — по 18, ЮАР — 5 млрд долл. Новый банк развития БРИКС рассматривается как противовес МВФ и Всемирному банку. Он призван финансировать масштабные проекты в рамках объединения и снижать риски от потрясений в мировой экономике. При возможности присоединения к банку других государств доля пяти стран-учредителей в капитале не может быть ниже 55% (интересно, что аналогичный минимальный порог действует в МВФ для США и стран Европы).

Российско-китайские торговые отношения. В июне 2019 г. Россия и Китай сделали первые шаги по дедолларизации двусторонних торговых отношений, заключив соглашение о развитии взаимной торговли и финансовых операций с использованием национальных валют — рубля и юаня. Такое решение имеет особое значение в условиях растущих экономических связей двух стран.

В 2019 г. товарооборот России с Китаем, по данным Главного таможенного управления КНР (показатели отличаются от таможенной статистики Российской Федерации в силу различных подсчётов), составил 109.7 млрд долл. (рис. 7), увеличившись на 2.7% по сравнению с 2018 г., в том числе экспорт КНР в Россию — 49.5 млрд долл. (+3.1%), импорт КНР из России — 60.3 млрд долл. (+2.3%).

В структуре китайского импорта из нашей страны основная доля поставок приходится на топливно-энергетические товары, в основном нефть и уголь. Сотрудничество в рамках БРИКС позволяет КНР удовлетворять растущие потребности в энергоносителях, по импорту которых страна занимает первое место в мире: 778.7 млн т н.э. в 2018 г., или около 13.5% мирового импорта первичных энергоресурсов, в частности, доля Китая в импорте нефти в 2019 г. составила 20.8% и угля — 21%, газа (включая СПГ) — 10.1% и нефтепродуктов — 4.7%. Кроме того, в 2009 г. страны заключили соглашение о сотрудничестве в нефтяной сфере. Россия стала одним из крупнейших поставщиков нефти в Китай. В 2019 г. доля нашей

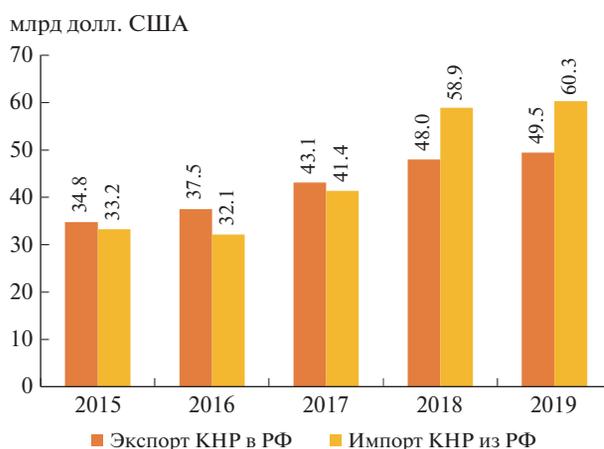


Рис. 7. Товарооборот между КНР и Россией

Источник: Главное таможенное управление Китая.

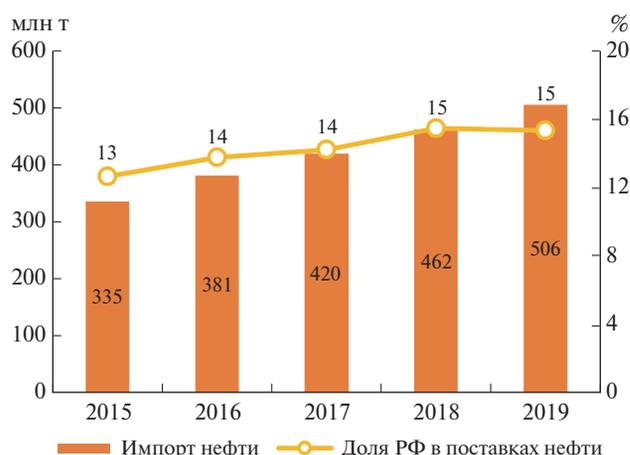


Рис. 8. Импорт нефти КНР

Источник: Главное таможенное управление Китая.

страны в импорте нефти, по данным Главного таможенного управления КНР, составила 15.4% (Саудовской Аравии — 16.5%). За этот период импорт нефти из РФ превысил 77.7 млн т (рис. 8), что на 8.6% выше уровня 2018 г. (данные отличаются от показателей таможенной статистики РФ).

В 2019 г. объём поставок российского угля в Китай достиг 32.2 млн т (рис. 9), что на 4.9 млн т больше уровня 2018 г., в том числе импорт энергетического угля составил 17.2 млн т (+2.4 млн т к уровню 2018 г.), коксующегося — 5.4 млн т (+1.1 млн т), лигнита — 3.1 млн т (+1.9 млн т) и антрацита — 6.5 млн т (−0.5 млн т).

Объём поставок нефтепродуктов (доля РФ в импорте КНР в 2019 г. составила 3.8%) и газа, включая СПГ (около 2.6%), незначителен (рис. 10, 11). Вместе с тем ожидается, что по мере роста экспорта российского газа по магистральной

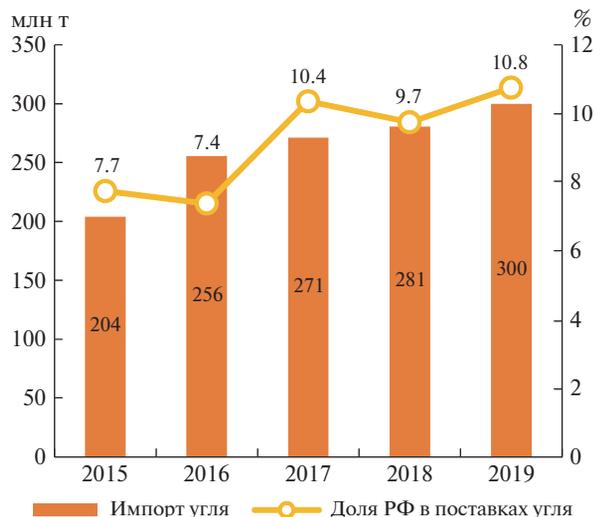


Рис. 9. Импорт угля КНР

Источник: Главное таможенное управление Китая.

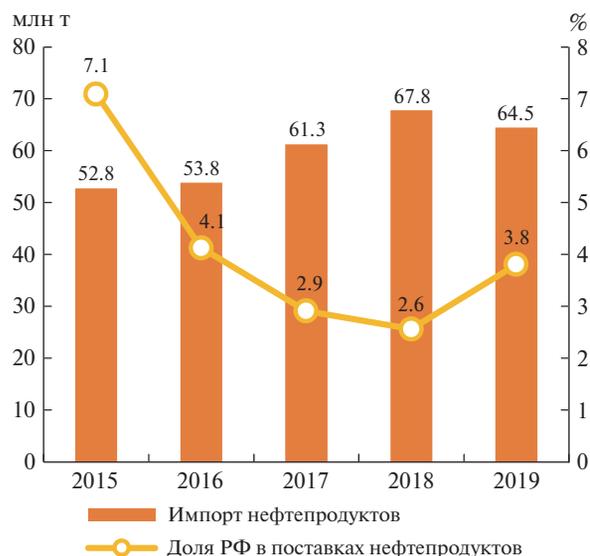


Рис. 10. Импорт нефтепродуктов КНР

Источник: Главное таможенное управление Китая.

системе “Сила Сибири” (в 2019 г. — 0.328 млрд м³) доля трубопроводных поставок голубого топлива в КНР будет увеличиваться (рис. 12).

К факторам, способствующим интернационализации юаня, относится укрепление доверия к нему внутреннего и международного рынков, что возможно после стабилизации финансовой системы и оживления экономического роста. Речь идёт о восстановлении средне- и долгосрочного макроэкономического баланса, нарушенного пандемией. Народному банку Китая и Министерству финансов КНР прежде всего необходимо добиться стабилизации валютных курсов доллара, евро и юаня.

Интернационализация юаня невозможна без вытеснения доллара из Юго-Восточной Азии. В области внешней торговли Китаю предстоит скорректировать валютное регулирование так, чтобы экспортёры отказались от практики непокрытого валютного риска и больше ориентировались не на валовые доходы, а на уровень прибыли. Одно из решений, настойчиво продвигаемое китайскими властями, — создание валютной корзины из ключевых мировых валют, которая служила бы ориентиром денежно-кредитной политики стран Азии. Причём оговаривается, что веса в корзине должны определяться реальными экономическими факторами, в частности, региональной торговлей, способствующей снижению доли доллара и увеличению — юаня. Если проект азиатской валютной единицы будет реализован, корреляция обменных курсов юаня и валют стран Юго-Восточной Азии резко возрастёт, а волатильность юаня уменьшится.

Другой аспект интернационализации юаня — улучшение китайских финансовых рынков. Ряд

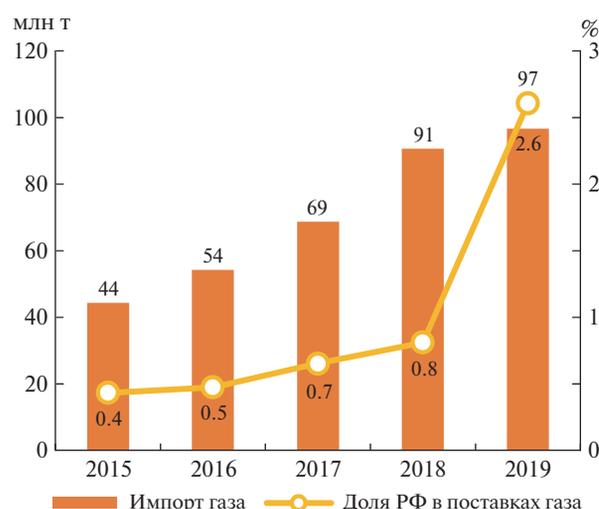


Рис. 11. Импорт газа КНР, включая СПГ

Источник: Главное таможенное управление Китая.

шагов — эмиссия новых видов государственных обязательств, пересмотр системы налогообложения и облегчение условий доступа нерезидентов на внутренний рынок — уже предприняты Министерством финансов КНР. Далее предполагается ввести сделки РЕПО по аналогии с Соединёнными Штатами и Европой. Для формирования эффективной кривой доходности по гособлигациям необходимо отказаться от десятилетних бумаг как ориентира рынка (benchmark issue) и перейти на пятилетние облигации. В скором времени власти Поднебесной намереваются ввести STRIPS-программу (Separate Trading of Registered Interest and

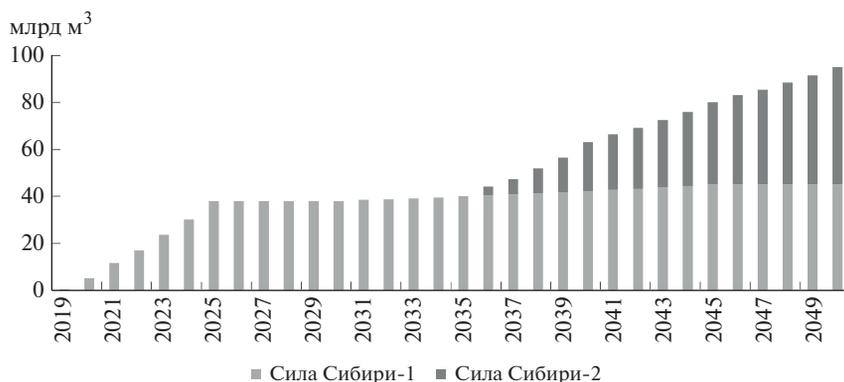


Рис. 12. Прогноз импорта газа КНР по направлениям
 Источники: ПАО «Газпром», CNPC, расчёты автора.

Principal of Securities), торговлю купонами отдельно от облигаций.

Помимо внутренних проблем на повестке дня стоит вопрос развития оффшорного рынка юаневых инструментов. Его стимулирование позволит не только интернационализировать юань, но также содействовать более эффективному рецикливанию за рубежом избыточных китайских сбережений. Оффшорный рынок может служить плацдармом экспансии китайских финансовых институтов на внешнем рынке. Необходимо озаботиться инфраструктурой рынка. С января 2002 г. Народный банк Китая уже запустил национальную платёжную систему расчётов China Union-Pay. Предполагается улучшить систему расчётов по коммерческим бумагам и депозитным сертификатам. В долгосрочной перспективе стране рано или поздно придётся перейти на единую централизованную расчётную систему по всем видам ценных бумаг.

1 октября 2016 г. юань был официально включён в расчёт Special Drawing Right (SDR) [9]. В новой корзине он потеснил японскую иену и британский фунт, но наиболее заметно (на 6.5 п.п.) сократился удельный вес евро. При этом доля доллара США практически не претерпела изменений.

Сам по себе факт вхождения юаня в состав корзины МВФ не делает эту денежную единицу мировой резервной валютой. Он отражает прогресс, которого добился Китай в реформировании финансовой и валютной систем. Однако отсутствие официальной позиции властей КНР о планах либерализации валютного законодательства и роли юаня в глобальной экономике даёт основания предположить, что превращение национальной денежной единицы в полноценную международную валюту не входит в число первоочередных задач государственной политики страны в среднесрочной перспективе. По мнению специалистов Банка международных расчётов и

Резервного банка Австралии, китайские власти пока не рассматривают юань как инструмент внешнеэкономической экспансии, считая приоритетным сохранение жёсткого контроля за внутренним финансовым рынком. Вместе с тем всё более широкие торгово-экономические связи Китая с остальным миром и положительное сальдо по текущим операциям платёжного баланса будут способствовать естественному расширению его использования в мировой торговле и финансах.

В марте 2018 г. на Шанхайской международной энергетической бирже (Shanghai International Energy Exchange Co. — INE) стартовали торги нефтяными фьючерсами, номинированными в юанях. На подготовку проекта Китай потратил почти четверть века. Наиболее активно он продвигался в последние шесть лет. Результат не заставил себя ждать: через несколько месяцев после запуска торгов западные аналитики назвали «шанхайский феномен» самым значительным событием за всю историю развития финансовых рынков. Созданный в рамках программы новый эталонный сорт нефти Shanghai Oil в первый же год стал теснить позиции признанных нефтяных брендов — американский WTI и британский Brent.

Во многом успех Shanghai Oil предопределила организация биржевого дела на Шанхайской международной энергетической бирже, которая считается филиалом Шанхайской биржи фьючерсов (Shanghai Futures Exchange — SHFE). INE была зарегистрирована 6 ноября 2013 г. в Китайской экспериментальной зоне свободной торговли (Шанхай), представляющей собой своеобразный полигон для экономических и социальных реформ. Сейчас в торгах на INE участвуют более 400 китайских и иностранных брокеров. Последние пока присматриваются, проводят тестовые сделки, готовясь в ближайшее время активизировать свою деятельность. Среди 40 международных посредников, получивших аккредитацию, боль-

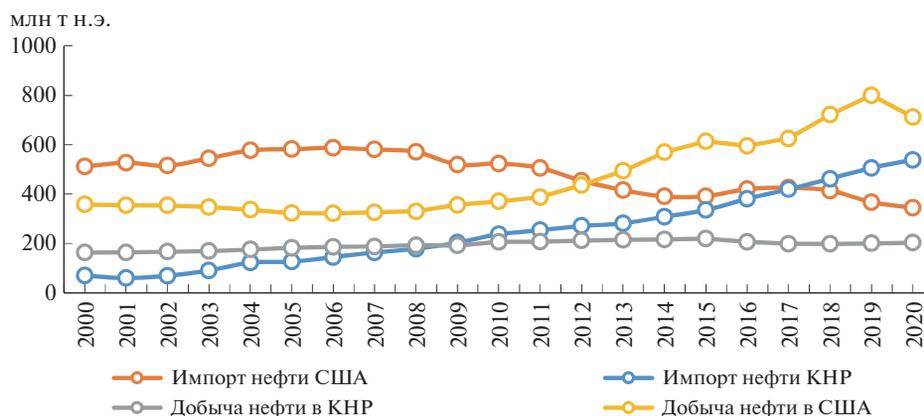


Рис. 13. Импорт и добыча нефти, включая газоконденсатные жидкости, в КНР и США
Примечание: 2020 г. – оценка.

Источники: Международное энергетическое агентство, JODI, расчёты автора.

шинство представляют Гонконг и Сингапур. О своём представительстве заявили известные финансовые корпорации J.P. Morgan Securities, GF Financial Markets Limited и Goldman Sachs International. На Шанхайской энергетической бирже ведут торги брокеры крупнейших мировых нефтяных трейдеров Glencore Plc и Trafigura. Стоит заметить, что российские участники на INE пока не регистрировались.

Примечательно, что в Шанхай с Нью-Йоркской товарной биржи (New York Mercantile Exchange – NYMEX) и Международной нефтяной биржи в Лондоне (в 2001 г. сменила название на ICE Futures Europe) перебрались все китайские трейдеры, а также представители добывающих нефтяных компаний КНР (Unipet, China National Petroleum Corp., Zhenhua Oil). Немаловажным событием для успешного ведения торгов стало освобождение трейдеров INE от налогов в течение трёх лет.

Многое было сделано для обеспечения физических поставок. Создана транспортная инфраструктура, позволяющая осуществлять доставку нефти по условиям фьючерсных контрактов, оборудованы восемь пунктов для хранения нефти. Эти меры привели к тому, что Шанхайская международная энергетическая биржа по объёмам торговли нефти опередила биржи в Дубаи, Токио и Сингапуре и вышла на третье место в мире после Нью-Йорка и Лондона.

С 2018 г. Китай как крупнейший мировой импортер нефти обошёл США (рис. 13). Учитывая эффект американской сланцевой революции и снижение китайской нефтедобычи в среднесрочной перспективе, КНР будет импортировать значительно больше нефти по сравнению с США.

Интернационализации юаня способствуют и другие факторы [10–12]. Так, американские санкции подталкивают Китай к развитию платёжной

системы, альтернативной SWIFT⁶, использующей для расчётов доллар. В КНР разработана Трансграничная межбанковская платёжная система CrossBorder Interbank Payment System (CIPS), к которой присоединился Иран. Расширяется кооперация Китая с другими странами в сфере финансовых технологий для расчётов без американского доллара. Кроме того, увеличивается количество международных институтов, использующих юань в качестве резервной валюты. В их числе Asian Infrastructure Investment Bank, BRICS Fund и Russia-China Investment Bank.

Перспективы интернационализации юаня. Специалисты считают, что шансы Китая усилить глобальные позиции юаня достаточно велики. Резервы Народного банка Китая составляют почти 5 трлн долл. Если страна продолжит движение по пути либерализации рынка капитала, то желание центральных банков приобретать китайскую валюту будет возрастать. Более сильный юань поз-

⁶ Юань, наряду с британским фунтом, японской иеной и канадским долларом, в системе трансграничных платежей остаётся валютой второго ряда. Первоначально реализация стратегии интернационализации юаня привела к усилению его роли в обслуживании трансграничных платежей. Во второй половине 2015 – начале 2016 г. его доля в межбанковских расчётах повысилась примерно до 2% (исторический пик в 2.79% был достигнут в августе 2015 г.). Однако затем она начала снижаться и с 2018 г. колеблется в коридоре 1–1.2%. Отказ от либерализации финансового сектора и счёта операций капитала в платёжном балансе, снижение роли юаня в обслуживании трансграничных межбанковских операций обусловлены его девальвацией. Доля китайской валюты в обслуживании межбанковских расчётов росла в тот период, когда наблюдалось укрепление юаня относительно доллара. Рыночные игроки рассчитывали на продолжение этой тенденции и им было выгодно переводить расчётные операции в дорожающую валюту. Осуществляемые финансовыми властями КНР периодические девальвации юаня, начатые в январе 2017 г., резко понизили привлекательность перевода расчётов в юани для рыночных агентов.

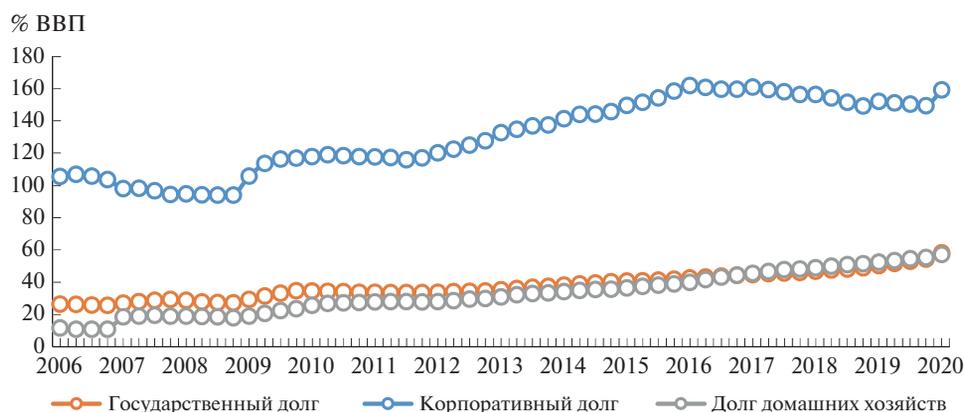


Рис. 14. Задолженности домашних хозяйств, корпоративный и государственный долг КНР
 Источник: Банк международных расчётов.

волит КНР уменьшить деноминированную в долларах внешнюю задолженность национальных банков и корпораций и тем самым снизить риск финансового кризиса. Кроме того, сократится отток капитала из страны, что даст возможность ослабить контроль за его движением [14–17].

В долгосрочном плане, считают специалисты, вряд ли стоит ожидать устойчивого роста стоимости юаня, поскольку китайскую экономику ожидают серьёзные проблемы: высокий уровень корпоративного долга и быстрые темпы его роста, избыточные производственные мощности, несбалансированный рынок недвижимости, неопределённость развития глобальной экономики (рис. 14). Эти факторы будут вызывать колебания курса юаня. Конкуренция США и Китая, скорее всего, приведёт и к ослаблению позиций доллара [18].

Индия на мировом рынке капитала. В отличие от Китая, валютная политика Индии носит более открытый характер и во многом ориентирована на создание условий, облегчающих приток иностранного капитала на внутренний рынок. В частности, обеспечение годового притока прямых иностранных инвестиций в объёме не менее 25 млрд долл. заявлено как одна из приоритетных экономических задач, стоящих перед страной.

Проводимая Индией в 2000-е годы политика валютной либерализации способствовала повышению конвертируемости рупии и созданию условий для её постепенной интернационализации. В частности, резиденты страны получили право приобретать зарубежные активы и привлекать займы за границей, а нерезиденты — осуществлять прямые и портфельные инвестиции на индийском рынке. Вместе с тем либерализация валютных операций в Индии ещё далека до завершения. Сохраняются существенные различия в режиме валютного регулирования для компаний, банков и физических лиц, а также отдельных видов операций с капиталом.

Ещё один барьер к интернационализации рупии — достаточно высокий уровень инфляции в стране: в 2018 г. — 3.9%, в 2019 г. — 3.7% и в 2020 г. — 6.4%, по оценкам ОЭСР. Кроме того, вовлечение рупии в международный оборот сдерживается невысокой долей Индии в глобальном экспорте товаров (около 1.6% в 2020 г., согласно данным ОЭСР)⁷, что снижает спрос зарубежных партнёров на национальную валюту.

Рост индийской экономики, расширение торгово-экономических связей и всё более активное участие страны в международном движении капитала способствуют ускорению объёмов валютных сделок с индийскими рупиями на внутреннем и внешнем рынках. Так, дневные обороты на внутреннем валютном рынке увеличились в среднем с 3 млрд долл. в 2001 г. до 114 млрд долл. в 2019 г. Обороты по форвардным валютным контрактам на рупию за тот же период выросли с 0.4 до 62.7 млрд долл. Стремительное расширение объёмов торговли рупией внутри страны и за границей привело к более чем трёхкратному увеличению её доли в обороте мирового валютного рынка — с 0.2% в 2001 г. до 1.7% в 2019 г. Валютная либерализация в Индии тесно увязана с успешным проведением реформ в банковском секторе, государственных финансах, на рынке ценных бумаг, а также с ростом внутренней финансовой стабильности.

В 2014 г. Резервный банк Индии и Банк Японии подписали Соглашение о свопе, которое позволило обеим странам обмениваться своими национальными валютами в объёме до 50 млрд долл. Однако данный контракт предполагает так-

⁷ Доля Индии в мировом экспорте товаров выросла с 0.7% в 2000 г. до 1.6% в 2020 г., но она продолжает играть второстепенную роль в мировой торговле. Объём экспорта промышленной продукции Индии невелик. Страна специализируется на экспорте услуг и широко использует миграцию индийской рабочей силы за границу.

же использование доллара. Если Индия будет заключать больше таких соглашений с другими странами с участием рупии с одной стороны сделки и валюты партнера — с другой, то будет иметь место более интенсивная интернационализация рупии.

Соглашение о свопе в национальных валютах стимулирует торговое и инвестиционное сотрудничество Индии и является свидетельством повышения уровня финансового взаимодействия Резервного банка Индии и других центральных банков.

Интернационализация рупии протекает в рамках Ассоциации регионального сотрудничества Южной Азии (СААРК), в частности в 2016 г. между Резервным банком Индии и прочими центральными банками Ассоциации были заключены своп-линии на сумму 2 млрд долл. США. Однако до сих пор, в соответствии с градуалистской политикой в области экономики, Индия не допускает широкого, ничем неограниченного использования национальной валюты за рубежом, кроме Бутана и Непала.

Таким образом, указанные факторы не позволяют говорить об индийской рупии как вероятном кандидате на роль мировой резервной валюты в среднесрочной перспективе.

Валютная политика Бразилии. Интернационализация бразильского реала происходит в рамках крупного регионального интеграционного объединения МЕРКОСУР, на долю стран-участниц которого приходится более 75% совокупного ВВП Латинской Америки. Развитие торгово-экономических связей между государствами региона способствует вовлечению национальных валют в обслуживание взаимной торговли, которое находит активную поддержку на официальном уровне. Так, в июле 2008 г. на саммите МЕРКОСУР Бразилия и Аргентина договорились о расширении использования реала и песо в двусторонних расчётах и увязке их обменных курсов в рамках единого коридора по отношению к другим валютам. По мнению руководства этих стран, данная инициатива обеспечит условия для дедолларизации взаимного товарооборота, повысит стабильность курса национальных валют и создаст предпосылки для введения в будущем единой валюты на территории МЕРКОСУР.

Рубль на мировом рынке валют. Россия в ближайшее время вряд ли сможет противопоставить свою валюту доллару или евро. Рубль приходится приспособлять к уже действующей новой международной биполярной валютной системе. В то же время 2020 год начинался с укрепления связей Россией со странами Азии, поэтому очевидна потребность переориентации её валютных отношений на японскую иену и китайский юань.

Руководство нашей страны неоднократно заявляло о необходимости сделать рубль конвертируемым. Президент РФ В. Путин считает, что, выходя на мировой рынок, российским предприятиям полезно заключать выгодные контракты не только в долларах и евро, но и в рублях. В противном случае потребуется не один десяток лет поступательного развития нашей экономики, чтобы рубль смог стать полностью обратимым. Очевидно, что этот процесс невозможно осуществить исключительно административными мерами.

* * *

Многосторонний диалог в рамках БРИКС начался в период мирового финансового кризиса, и координация усилий стран пятерки вылилась прежде всего в совместные инициативы по реформированию глобальной системы финансового регулирования. По мнению руководства объединения, существующая международная валютно-финансовая архитектура устарела. Фактическое доминирование США и стран Евросоюза при принятии решений в Международном валютном фонде и Всемирном банке вошло в противоречие с усилившейся ролью БРИКС в мировой экономике и финансах. Финансовый кризис 2007–2009 гг. в США лишней раз показал проблематичность ситуации, когда национальная денежная единица определённой страны, пусть и самой мощной в финансовом отношении, выступает одновременно в качестве мировой резервной валюты.

По итогам антикризисных саммитов Большой двадцатки в Питтсбурге (США) и Сеуле (Республика Корея) странам БРИКС удалось добиться перераспределения квот в свою пользу в уставном капитале МВФ. Их совокупная доля увеличилась на 3.35 п.п. с 11.49 до 14.84%. Кроме того, в апреле 2010 г. было утверждено перераспределение долей голосов при принятии решений во Всемирном банке, в результате чего наиболее ощутимый выигрыш получили Китай и Индия.

Однако выдвигаемые некоторыми странами БРИКС предложения об использовании их валют в качестве резервных, о включении таких валют (кроме китайского юаня) в корзину SDR или конструировании новой наднациональной валюты пока не выглядят достаточно обоснованными. Среди государств объединения режимы регулирования, близкие к полной конвертируемости национальной денежной единицы, имеют только Бразилия, Россия и ЮАР. Валюты трёх стран используются как средство международных расчётов в отношениях с соседними государствами. Впрочем, то же можно сказать и о валютах Индии и Китая, где переход к полной конвертируемости рассматривается властями только как перспективная цель, к достижению которой следует двигаться через ряд промежуточных этапов.

Страны БРИКС уже приняли ряд решений по использованию национальных валют в межгосударственных расчётах. На саммите 2012 г. в Дели (Индия) подписаны Генеральное соглашение об общем порядке открытия кредитных линий в национальных валютах БРИКС и Многостороннее соглашение о подтверждении аккредитивов.

Можно предположить, что укрепление позиций БРИКС в глобальных финансах в среднесрочной перспективе будет происходить последовательно, эволюционным путём, с некоторым повышением вклада этих стран в глобальное производство и торговлю. Как показал кризис 2020 г., необходимым условием устойчивого развития выступает последовательное укрепление позиций стран с формирующимися рынками в глобальных финансах, которое обеспечивает стабильный, независимый от состояния мировой конъюнктуры приток иностранных инвестиций, сокращает бегство капитала и, в конечном итоге, позволяет создать надёжную ресурсную базу для долгосрочного инновационного роста стран сотрудничества. Это потребует принятия широкого комплекса мер, направленных в том числе на формирование крупных международных финансовых центров в странах БРИКС, ускорение процессов интернационализации национальных валют, создание действенных механизмов государственного регулирования трансграничных финансовых потоков. В частности, государства могли бы стимулировать импорт и экспорт инвестиций по наиболее значимым для стран БРИКС направлениям, предоставляя, главным образом через институты развития, кредиты, гарантии и другие виды финансовой поддержки приоритетным международным проектам и сделкам. Фондирование подобных операций целесообразно проводить преимущественно за счёт средств, привлекаемых институтами развития на внутреннем и внешних рынках капитала путём выпуска долговых ценных бумаг.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Петров М.В., Плисецкий Д.Е.* Трансформация глобальных финансов // МЭ и МО. 2010. № 7. С. 3–22.
2. Трансформация глобальной экономики: роль ведущих развивающихся стран // Вектор, оценки, прогнозы, приоритеты. 2013. № 15. С. 3–68.
3. ТЭК в фокусе стран БРИКС // ТЭК России. 2020. № 8. С. 14–28.
4. *Кондратов Д.И.* Актуальные подходы к реформированию мировой валютной системы // Экономический журнал ВШЭ. 2015. № 1. С. 128–157.
5. *Кондратов Д.И.* Современная мировая валютная система и перспективы её развития // США и Канада: экономика, политика, культура. 2013. № 9. С. 18–37.
6. *Кондратов Д.И.* Современная мировая валютная система и перспективы её трансформации // Вестник РАН. 2017. № 7. С. 613–621; *Kondratov D.I.* The Contemporary Global Monetary System and Prospects to Transform It // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. № 4. С. 328–335.
7. *Leboucher S.* Internationalisation du yuan: les places occidentales en ordre de bataille // Rev. Banque. 2013. № 749. <http://www.revue-banque.fr/banque-investissement-marches-gestion-actifs/breve/internationalisation-yuan-les-places-occidentales>
8. *Graff M., Bruneton A.* Les atouts de l'internationalisation du renminbi // Rev. Banque. 2013. № 757. <http://www.revue-banque.fr/banque-investissement-marches-gestion-actifs/article/les-atouts-internationalisation-renminbi>
9. *Грибова Н.* Китайский юань включён в корзину резервных валют МВФ. 2016. РИСИ. 31 октября 2016 г. <https://riss.ru/analytics/35524/>
10. *Cockerell L., Shoory M.* Internationalising the Renminbi // RBA Bulletin. 2012. June Quarter. P. 77–90. <http://www.rba.gov.au/publications/bulletin/2012/jun/pdf/bu-0612-9.pdf>
11. BIS. Asian Research Programme // BoK-BIS Seminar. March 19–20. Seoul, 2009. <http://www.bis.org/repofficepubl/arpresearch200903.05.pdf>.
12. *Hongyi C., Peng W., Shu Ch.* The Potential of the Renminbi as an International Currency // BIS. Asian Research Programme. February, 2009. <http://www.bis.org/repofficepubl/arpresearch200903.06.pdf>.
13. Bank for International Settlements. Triennial Central Bank Survey. Foreign exchange turnover in April 2019. Monetary and Economic Department. September 16, 2019. https://www.bis.org/statistics/rpfx19_fx.htm
14. *Amadeo K.* How the Yuan could become a global currency. China's plan to replace the U.S. dollar // The balance. 25.06.2019. <https://www.thebalance.com/yuan-reserve-currency-to-global-currency-3970465>.
15. *Amadeo K.* Does China manipulate its currency? // The balance. 27.12.2018. <https://www.thebalance.com/china-s-currency-the-yuan-or-renminbi-3305906>.
16. *Liu K.* The future of China's yuan vs. the US dollar // Capital watch. 11.04.2018. <https://www.capital-watch.com/article-1818-1.html>
17. *Gasper D.* Pain of tariffs and sanctions behind China and Russia's push to dethrone the US dollar. 16.06.2019. <https://www.scmp.com/comment/opinion/article/3014258/pain-tariffs-and-sanctions-behind-china-and-russias-push-de throne>
18. *Луцкая Е.Е.* Проблемы интернационализации китайского юаня // Социальные и гуманитарные науки: Отечественная и зарубежная литература. Серия 2: Экономика, политика, культура. 2019. № 4. С. 92–97.

ДОСТИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ АСТРОМЕТРИИ

© 2021 г. А. С. Цветков

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: a.s.tsvetkov@inbox.ru

Поступила в редакцию 13.08.2020 г.

После доработки 01.09.2020 г.

Принята к публикации 28.09.2020 г.

Астрометрия — основа астрономических наблюдений и измерений координат и времени. Главная её задача — реализация системы отсчёта — той самой, о которой говорится в первом законе Ньютона. Ещё с античных времён астрономы создавали для этой цели звёздные каталоги. Работа над ними привела к открытию прецессии и нутации земной оси, собственных движений и параллаксов звёзд, орбитального движения двойных звезд. На наблюдениях в радио- и оптическом диапазоне очень далёких объектов — квазаров — базируется современная система отсчёта International Celestial Reference Frame (ICRF). Именно к ним привязывается система GPS или ГЛОНАСС в навигаторе. XXI век с его вычислительными возможностями привёл к созданию звёздных каталогов невиданной мощности, содержащих свыше миллиарда объектов. Но основной прорыв, даже революцию в астрометрии совершили космические наблюдения. Уже два космических аппарата создали звёздные каталоги фантастической точности, что позволяет прикоснуться к решению таких задач, постановка которых ещё несколько лет назад была немыслима. Обзору успехов астрометрии за последние два тысячелетия, массовым звёздным каталогам и космическим астрометрическим проектам посвящена эта статья.

Ключевые слова: астрометрия, радиоастрометрия, каталоги Hipparcos, NOMAD, UCAC4, PPMXL, XPM, космическая миссия GAIA.

DOI: 10.31857/S0869587321020109

Если звёзды заносят в каталоги — значит, это кому-то нужно!

ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСКУРС

Астрометрия — самая древняя часть астрономии. Её основной метод — позиционные измерения, то есть измерение точных направлений на объекты, к которым в первую очередь относятся звёзды. С античных времён результаты таких наблюдений оформлялись в виде звёздных ка-

талогов. Наиболее известный среди них, не сохранившийся до наших дней, — каталог древнегреческого астронома Гиппарха (II в. до н.э.), датированный 129 г. до н.э. В 2005 г. исследователи сделали предположение, что он присутствует на римской статуе “Атлант Фарнезе” (рис. 1) [1]. Надо признать, что этот каталог был далеко не первым. Известно, что Гиппарх, сравнив положения звёзд в своём каталоге с более ранними каталожными данными, открыл явление астрономической прецессии, природу которой смог объяснить в 1686 г. Исаак Ньютон.

Астрономические каталоги бывают разными — туманностей, галактик, переменных звёзд и т.п. Их называют астрофизическими. Но нас интересуют астрометрические каталоги. Данные, которые обычно содержатся в них, отражены в таблице 1.

Положения и собственные движения звёзд — точные координаты и скорости их изменения —



ЦВЕТКОВ Александр Станиславович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры астрономии СПбГУ.

нужны для построения системы отсчёта на небесной сфере. Существует абстрактное понятие Reference System (система отсчёта), подразумевающее теоретическое построение, и конкретное Reference Frame, означающее реализацию системы отсчёта на практике [2]. Наиболее точным воплощением абстрактной инерциальной системы отсчёта как раз и служат звёздные каталоги. Именно к ним привязывают координаты различных объектов на небесной сфере и, в конечном итоге, на Земле. Всем известная система GPS/ГЛОНАСС прикреплена через космические аппараты к каталогу квазаров — сверхдалёких объектов, собственными движениями которых можно пренебречь [3].

Собственные движения звёзд (proper motions) — это скорости изменения звёздных координат. Зная их, можно перевести координаты звёзд на другую эпоху как вперёд, так и назад. Анализ самих собственных движений позволяет изучать кинематику звёзд околосолнечного пространства и Галактики в целом. Открытие собственных движений принадлежит знаменитому английскому астроному Эдмунду Галлею, обнаружившему в 1718 г., что некоторые яркие звёзды из каталога Гиппарха—Птолемея заметно изменили свои положения среди других светил [4].

Крайне сложно и драматично решался вопрос о расстояниях до звёзд. Попытки обнаружить их параллактические смещения, вызванные обращением Земли вокруг Солнца, предпринимались ещё в античности. Их отсутствие (конечно же, вызванное чрезвычайной малостью эффекта) служило одним из аргументов против гелиоцен-



Рис. 1. Эллинистическая скульптура “Атлант Фарнезе”. П в. н. э. Национальный археологический музей Неаполя

трической системы мира. Поиском параллакс в Новое время занимались такие видные учёные, как Тихо Браге, Галилео Галилей, Роберт Гук. В ходе этой работы Джеймс Бредли обнаружил в 1728 г. абerrацию света и нутацию земной оси, а

Таблица 1. Данные астрометрических каталогов

Данные	Комментарий
Положения (координаты)	Всегда присутствуют, могут быть в экваториальной и/или галактической системе координат; приводятся на конкретную эпоху наблюдений
Собственные движения	Изменения координат со временем; практически всегда присутствуют в современных звёздных каталогах
Параллаксы	Расстояния до звёзд; присутствуют в специальных каталогах и каталогах космической астрометрии
Звёздные величины	Блеск звёзд в одной или в нескольких общепринятых шкалах; хотя это величина астрофизическая, но существует практически всегда
Информация о кратности	Часто приводится, указывая на особенности в астрометрических данных
Номера звёзд по другим каталогам	Полезная информация, позволяющая объединять и сравнивать данные различных каталогов
Дополнительная информация	Различные данные обычно астрофизического характера, полученные, как правило, из других каталогов, например, лучевые скорости — скорости звезды вдоль луча зрения, установленные по спектральным измерениям

Таблица 2. Расстояния и углы, под которыми будет видна рублёвая монета диаметром 2 см

Расстояние	Угол
4 км	1"
40 км	0.1" – параллаксы ближайших звёзд
4000 км (Москва–Лиссабон)	0.001" или 1 мсд – точность Hipparcos
400000 (Земля–Луна)	0.01 мсд – точность GAIA

Уильям Гершель в 1804 г. – орбитальное движение у двойных звёзд [5].

Лишь в 1837 г. В.Я. Струве в Дерптской обсерватории, а 1838 г. Фридрих Бессель в Кёнигсбергской обсерватории и Томас Хендерсон в обсерватории мыса Доброй Надежды провели первые достоверные оценки параллаксов ближайших звёзд, которые составили лишь доли секунды дуги [6]. Так, параллакс Альтаира у Струве оказался равным $0.181'' \pm 0.094''$. Для более наглядного представления малости измеряемых углов можно воспользоваться таблицей 2.

Определение тригонометрических параллаксов, то есть расстояний до звёзд, полученных геометрическим методом, посредством наземных наблюдений – крайне трудоёмкое занятие. Земная атмосфера ставит предел при наблюдении малых углов. Предельно достижимые статистические точности наземных наблюдений в большинстве своём ограничены значением 0.05", что даёт ошибку в определении параллакса в 100% уже на расстоянии 20 пк. Всё это привело к тому, что с 1838 по 1991 г. были измерены параллаксы лишь 8000 звёзд, притом с большой неопределённостью [7]. Не следует путать тригонометрический параллакс звёзд с так называемыми фотометрическим и спектральным. Под последними подразумевают косвенные оценки расстояний до звёзд по их астрофизическим характеристикам. Но для того чтобы это сделать, необходимо определить истинным тригонометрическим способом расстояния до звёзд тех или иных типов. В дальнейшем эта информация может быть использована для вычисления расстояния до звёзд, тригонометрический параллакс которых недостижим для измерений.

ЭПОХА НАЗЕМНЫХ АСТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Последним каталогом дотелескопической эпохи следует считать каталог, созданный в 1570–1600 гг. одним из лучших наблюдателей Тихо Браге [8]. Точность его положений составляет около 1 мин дуги. Именно этот каталог позволил Иоганну Кеплеру вывести свои знамени-

тые законы, которые привели к открытию Исааком Ньютоном закона всемирного тяготения.

XVIII–XIX столетия характеризуются постепенным увеличением точности наблюдений, достигшей к середине XX в. порядка 0.1". Последний каталог знаменитой серии FK (The Catalogues of Fundamental Stars) FK5 Basic [9] содержал всего 1535 звёзд, положения и собственные движения которых были уже на пределе точности наземных наблюдений, а история их слежения насчитывала более столетия. Каталоги этой серии (FK3, FK4, FK5) многие десятилетия задавали фундаментальную систему координат. Методика наблюдений была построена таким образом, что координаты каждой звезды в них определялись индивидуально, независимо друг от друга. Этим и вызвано столь небольшое число звёзд в фундаментальных каталогах.

Для распространения систем на большее число звёзд использовались фотографические каталоги, например, PPM (Position and Proper Motions) [10], содержащий около 400 тыс. звёзд, но со значительно меньшей точностью. Такие каталоги назывались относительными. Ошибки определения фундаментальной системы проникали в каталоги-распространители.

Бурно развивающаяся астрофизика требовала от астрометрии прежде всего высокоточных расстояний (рис. 2). В астрофизике известен фотометрический метод определения расстояний, использующий зависимость период–светимость для переменных звёзд-цефеид. Однако для калибровки этой шкалы необходимо промерить расстояние до нескольких цефеид прямым тригонометрическим методом. Расстояние до ближайшей к нам цефеиды – Полярной звезды – составляет, по данным космической астрометрии, 137 пк. Измерение тригонометрического параллакса с поверхности Земли для Полярной уже практически невозможно. Остальные цефеиды находятся ещё дальше. Определение расстояний до ближайших галактик основано на шкале цефеид. Дальнейшие косвенные методы позволяют определить расстояния до далёких скоплений галактик и определить значение постоянной Хаббла и возраст Вселенной. Но для уверенного их определения следует откалибровать зависимость период–

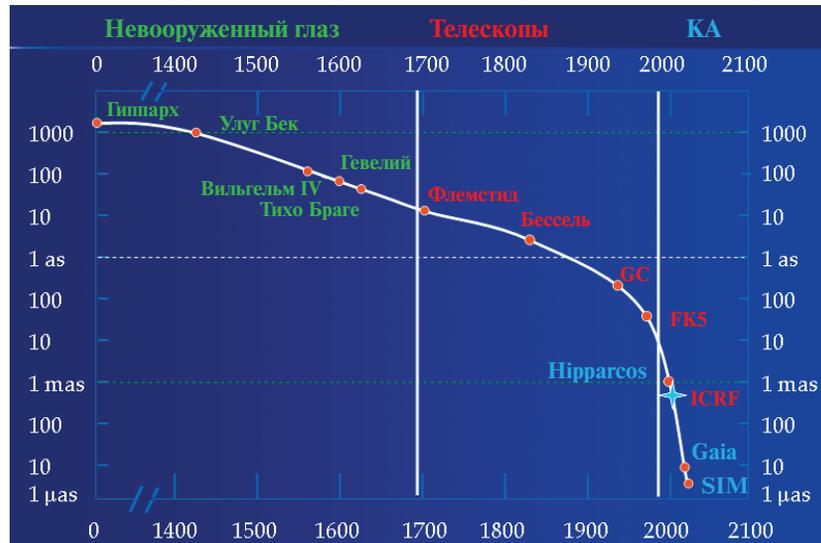


Рис. 2. Динамика точности астрономических наблюдений

светимость прямым методом. Этого наземная астрометрия сделать уже не могла [11].

РАДИОАСТРОМЕТРИЯ

Параллельно с оптическими наблюдениями развивалась радиоастрономия, которая с появлением радиоинтерферометров со сверхдлинной базой (РСДБ, VLBI) привела к резкому увеличению точности наблюдений вплоть до $0.001''$ [12].

В простейшем случае радиоинтерферометр — это система из двух радиотелескопов, ведущих синхронные наблюдения одного и того же точечного радиоисточника. Этот прибор измеряет временную задержку прихода фронта волны радиоизлучения на один телескоп по сравнению с другим. При небольших базах радиотелескопы можно соединить непосредственно линиями связи. Но если они расположены на расстояниях несколько тысяч километров друг от друга, а порой и на разных материках, то необходимо использовать точные стандарты времени, задаваемые атомными часами. Анализ измерения временных задержек позволяет получить географические координаты радиотелескопов, небесные координаты наблюдаемых радиоисточников, а также тонкие эффекты во вращении Земли — движение полюсов в её теле и неравномерность вращения. Точность этих измерений определяется длиной базы интерферометра, то есть расстоянием между телескопами и длиной волны принимаемого радиоизлучения. В 1970–1990 гг. во всём мире развернулись работы по созданию радиоинтерферометрических сетей, с помощью которых удалось достичь точности позиционных наблюдений квазаров порядка $0.001''$ – $0.0005''$ [13]. В нашей стране такие работы ведутся в рамках проекта “Квазар”,

для осуществления которого в Санкт-Петербурге был создан Институт прикладной астрономии РАН [14]. В действующую сеть входят радиоастрономические обсерватории “Светлое”, “Зеленчукская”, “Бадары” и Центр управления, сбора и обработки данных. Всё это позволило создать систему отсчёта принципиально нового типа — с использованием вместо звёзд квазаров, координаты которых были получены на миллисекундном уровне точности.

Как известно, квазары — это космологические объекты, удалённые от нас на предельные расстояния. Даже если предположить нереально высокие скорости их поперечного движения, сопоставимые со скоростью света, то и в этом случае трудно заметить их собственные движения. Таким образом, квазары образуют “сферу неподвижных звёзд”, которую можно использовать в качестве системы отсчёта. Однако не все квазары подходят для её построения. Некоторые имеют переменную структуру, вызванную физическими процессами внутри них, что приводит к смещению центра радиоизображения. Поэтому для построения системы отсчёта было выбрано 667 спокойных радиоисточников, из них 212 с ошибкой определения положения всего $0.0004''$. Новая радиоастрометрическая система отсчёта позволила на более высоком уровне изучать явления, происходящие на Земле: особенности её вращения, движение материков, тектонику плит. Однако радиоастрономия имеет существенный недостаток — недоступность в оптике. И если для GPS/ГЛОНАСС это не имеет особого значения, то для оптических наблюдений создаёт существенные проблемы. Данный недостаток удалось преодолеть только методами космической астрометрии, то есть про-



Рис. 3. Радиотелескоп сети “Квazar” в Бадарах

ведением астрометрических измерений в оптическом диапазоне в космосе.

ПЕРВЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ АСТРОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ HIPPARCOS

В 1989 г. Европейское космическое агентство (ESA) осуществило запуск космического аппарата Hipparcos (High Precision Parallax Collecting Satellite – спутник для сбора высокоточных параллаксов) с целью получения положений, собственных движений и параллаксов звёзд на миллисекундном уровне точности. Космический аппарат проработал на орбите 37 месяцев, в течение которых он выполнял астрометрические и фотометрические измерения звёзд по заданной программе [15].

Обработка этих наблюдений привела к созданию двух каталогов: Hipparcos, содержащего информацию о 118 218 звёздах с точностью определения положений, годовых собственных движений и параллаксов на уровне 1 mas (milli arc second – миллисекунда дуги; в русскоязычной литературе используется сокращение мсд – миллисекунда дуги), и каталога Tycho (свыше 1 млн звёзд) с точностью измерения положений и собственных движений звёзд до 25 mas [16, 17]. Данных о параллаксах этот каталог не содержит.

Положения и собственные движения звёзд в каталогах Hipparcos и Tycho приводятся в фундаментальной системе ICRS (International Celestial Reference System), реализованной в настоящее время с помощью каталога внегалактических радиоисточников ICRF (International Celestial Refer-

ence Frame) [18]. Вследствие того, что внегалактические источники (квазары) были недоступны прямому наблюдению на аппарате Hipparcos (за исключением 3С 273), пришлось использовать несколько прямых и косвенных методов, чтобы связать предварительную систему каталога Hipparcos с ICRF.

Появление Hipparcos вызвало бум статей разной направленности. Перечислим кратко некоторые основные результаты, изложенные в них (подробнее – в материалах симпозиума Hipparcos Venice’97 [19]):

- разработка самой технологии космических астрометрических наблюдений, связывание космической системы отсчёта с наземной, создание программных продуктов, использующих данные Hipparcos и Tycho, обеспечение доступа астрономической общественности к результатам космической миссии;
- калибровка диаграммы Герцшпрунга–Рассела светимости переменных звёзд разных типов (цефеиды, мириды), определение абсолютных звёздных величин, измерение масс компонентов двойных звёзд;
- исследование кинематики звёзд околосолнечного пространства, изучение структуры звёздных ассоциаций, поиск движущихся скоплений, распределение тёмной материи в Галактике;
- калибровка шкалы межгалактических расстояний, определение абсолютных возрастов шаровых звёздных скоплений.

Следует отметить, что успех миссии Hipparcos связан прежде всего с определением тригономет-

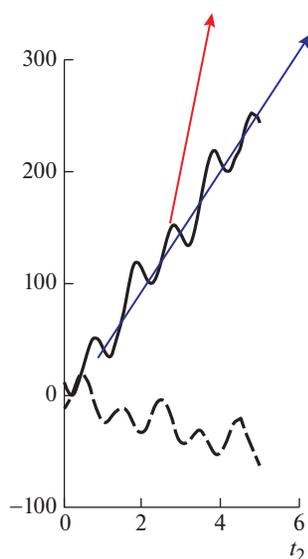


Рис. 4. “Мгновенные” собственные движения звёзд

рических расстояний 100 тыс. звёзд на уровне 1 мсд, что даёт точность в 20% до расстояний в 200 пк и 50% — до расстояний 400 пк. Однако для объектов, находящихся на расстоянии 1 кпк и далее, точность Hipparcos недостаточна.

Собственные движения звёзд, полученные на аппарате, как оказалась, имеют свои особенности, которые не проявляются при наземных наблюдениях. При определении собственного движения звезды традиционными методами разность эпох составляет обычно не менее 30 лет, а то и больше. Относительно низкая точность наземных наблюдений компенсируется большой разностью эпох. В Hipparcos эта разность составляет всего 3 года. Можно сказать, что собственные движения звёзд, полученные на таком кратком сроке, — мгновенные. Довольно часто звезда имеет невидимый (или не регистрируемый на аппарате) спутник. Из-за обращения компонентов вокруг общего центра тяжести могут возникнуть различия собственного движения звезды, определённого наземным способом (голубая стрелка на рисунке 4), по сравнению с космическим (красная стрелка)¹. Сравнение собственных движений звёзд наземных каталогов с данными космических каталогов может помочь в поисках звёзд с тёмными спутниками.

На аппарате Hipparcos наблюдалось около 1 млн звёзд по небольшому числу раз (2–3 наблюдения за весь период). Эти сведения легли в основу каталога Tycho. Но надёжность данных первого каталога Tycho сразу же вызвала нарекания. По одному разу аппарат Hipparcos пронаблюдал око-

ло 3 млн объектов. Это обстоятельство подтолкнуло астрометристов к созданию Tycho-2 — каталога нового поколения [20]. Его новизна состояла в том, что для вывода собственных движений звёзд в качестве первых эпох были использованы обширные ряды наземных астрометрических наблюдений, а для вторых эпох — весь массив данных, собранный космическим аппаратом Hipparcos. В результате появился астрометрический каталог Tycho-2, содержащий положения и собственные движения звёзд с точностью около 2.5 мсд/год, а также двухполосную фотометрию 2.5 млн звёзд (рис. 5). Каталог включает объекты до звёздной величины 11.5^m [17]. Он сыграл большую роль в различных кинематических исследованиях и до появления релизов каталога GAIA считался лучшим по точности собственных движений звёзд.

Интересно, что в Гейдельбергском астрономическом институте выпустили очередной каталог серии FK — FK6, который представляет комбинацию данных FK5 и Hipparcos [21, 22].

МАССОВЫЕ АСТРОМЕТРИЧЕСКИЕ КАТАЛОГИ НАЧАЛА XXI ВЕКА

Если изначально точность положений звёзд в Hipparcos составляла на 1991 г. около 1 мсд, то за прошедшие 30 лет из-за ошибок в собственных движениях порядка 1 мсд/год она деградировала до 30 мсд. Вследствие этого возникла необходимость в новых наблюдениях и каталогах. Повсеместное внедрение компьютерных методов обработки, сопоставление разных наблюдательных каталогов привело в начале XXI в. к появлению массовых звёздных каталогов немыслимых ранее объёмов, содержащих около 1 млрд записей.

Первым массовым можно считать каталог NOMAD (The Naval Observatory Merged Astrometric Dataset), включающий свыше 1 млрд объектов, который стал доступен астрономической общественности в 2004 г. [23]. В то время ещё были определённые технические сложности с хранением и обработкой данных такого объёма в обычной лаборатории или дома. В каталоге 1800 отдельных файлов, формат каждого параметра (координаты, собственные движения, звёздные характеристики) — бинарный целочисленный, что обеспечивает высокую скорость считывания. Тем не менее даже простейшая обработка NOMAD на современном персональном компьютере занимает свыше часа. Если необходимо решать такие задачи разово, то это приемлемо, а при постоянной работе с массивом данных следует подумать о системе распределённых вычислений. Сверхвысокая плотность звёзд в подобных каталогах позволяет выдвигать и решать задачи, постановка которых ранее была невозможна. Например, можно исследовать структуру всей Галактики в обшир-

¹ Рисунки в цветном формате в электронной версии статьи на сайте ИКЦ “Академкнига”.

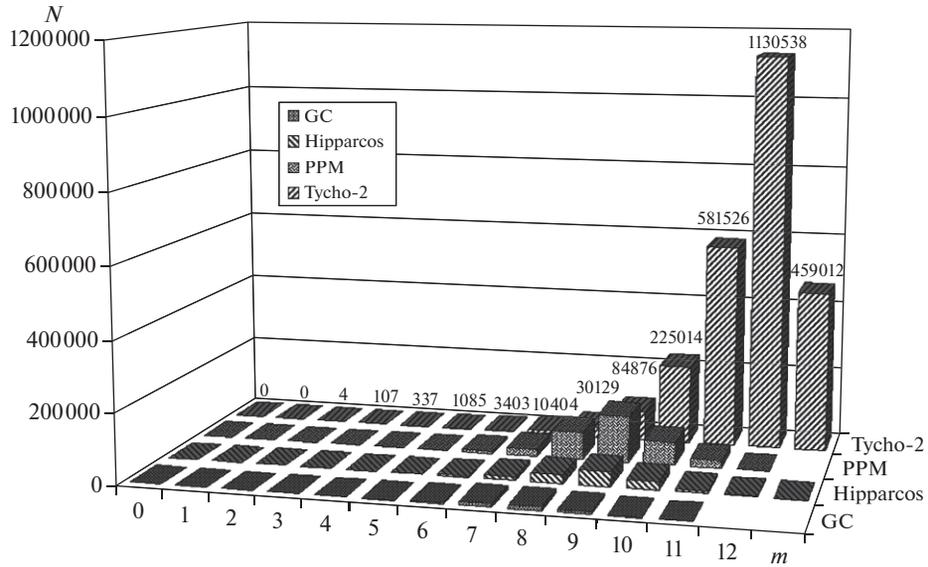


Рис. 5. Сравнение числа звёзд каталогов GC, Hipparcos, PPM и Tycho-2

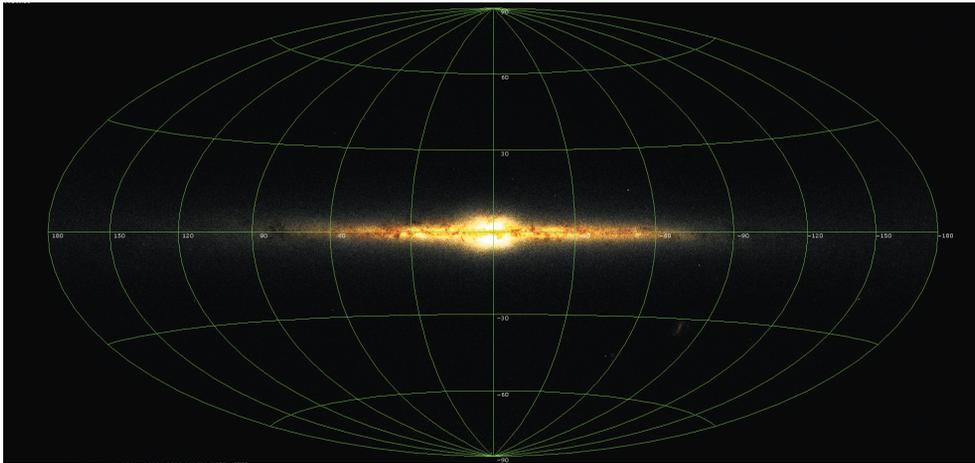


Рис. 6. Звёзды каталога NOMAD в проекции Хаммер-Айтоффа, визуализация инфракрасных звёздных величин в видимый диапазон

ных областях, а не в околосолнечном пространстве. На рисунке 6 показано распределение звёзд каталога NOMAD по небесной сфере в проекции Айтоффа [24]. Цвет звёзд подобран искусственно, путём сопоставления с инфракрасными звёздными величинами H , J , K_s цветовых компонент RGB-модели. Изображение на рисунке 6 вызывает иллюзию, что мы рассматриваем нашу Галактику откуда-то со стороны. На самом деле это изображение Млечного Пути на небесной сфере в ИК-диапазоне. И это не фотография, а компьютерное изображение, где каждая точка соответствует записи в каталоге.

Высокая плотность звёзд позволяет исследовать распределение пылевой материи. Нанесём

на карту не сами звёзды, а лишь средний показатель цвета всех звёзд, попадающих в конкретный пиксель изображения, — это десятки тысяч и более звёзд (рис. 7). Полученное изображение отчётливо показывает “покраснение” цвета, вызванного в основном распределением пылевой материи.

Наконец, с помощью каталогов такой мощности можно исследовать и небольшие области, но очень подробно. На рисунке 8 показаны окрестности шарового звёздного скопления M13 по данным каталога NOMAD. Ещё раз обращаю внимание на то, что это не фотография, а построенное компьютерным способом изображение.

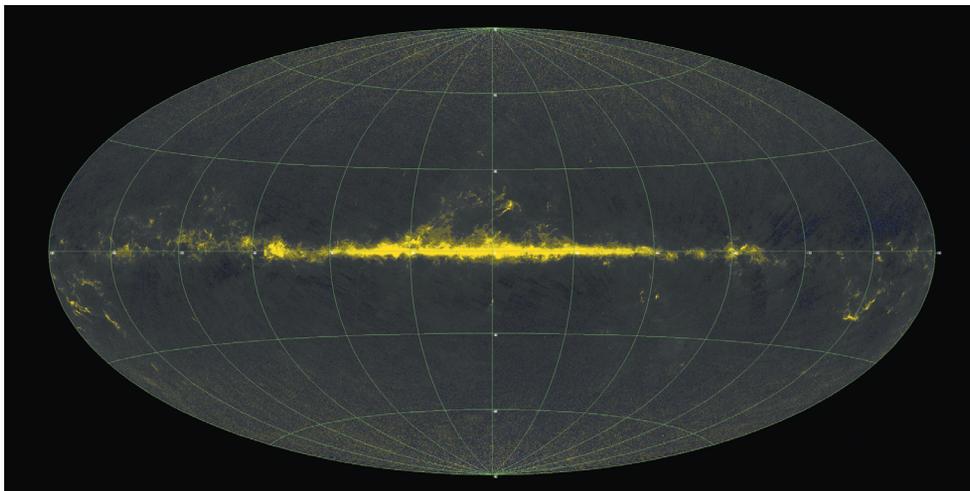


Рис. 7. Средний показатель цвета (J-K) звезды каталога NOMAD. Жёлтый цвет соответствует большему значению, голубой – меньшему

При всех достоинствах каталога лишь 340 млн звёзд (!) имеют данные о собственных движениях и их точность неоднородна. Поэтому сейчас используют массовые каталоги следующего поколения (рис. 9). Они меньше NOMAD, но значительно точнее.

Каталог UCAC4 содержит 113 млн звёзд от 8 до 16 звёздной величины [25]. Ошибки их собственных движений составляют от 1 до 10 мсд/год. В

UCAC4 сосредоточены фотометрические данные из проекта 2MASS – инфракрасного наземного каталога с 437 млн объектов, содержащего положения и звёздные величины в трёх полосах H, J, Ks, но не имеющего данных о собственных движениях звёзд [26].

Каталог PPMXL – самый массовый – содержит около 900 млн звезд и, по-видимому, полный до 20 звёздной величины [27]. Точность собственных движений оценивается интервалом от 4 до 10 мсд/год. Однако практика показала, что реальная точность координат и собственных движений в несколько раз хуже. PPMXL содержит фотометрические данные в 6 полосах: двух видимых и четырёх инфракрасных, но не для всех звёзд.

Оба каталога основаны главным образом на наблюдениях Военно-морской обсерватории США (USNO). Кроме того, в них используется информация из более чем 140 других звёздных каталогов.

Каталог XPM составлен путём объединения данных 2MASS и наблюдательного каталога USNO-A2.0, что позволило получить положения и собственные движения 314 млн звёзд в диапазоне звёздных величин от 10^m до 20^m [28]. Алгоритм вычисления собственных движений построен так, что они абсолютизированы относительно галактик, находящихся на таких расстояниях, при которых на сегодняшнем уровне точности их собственные движения незаметны. Это позволил сделать уже упоминавшийся каталог 2MASS, где помимо координат точечных источников (звёзд) содержится информация о положении примерно 1 млн протяжённых объектов, большая часть которых – галактики.

UCAC4, PPMXL и XPM – самые массовые и точные астрометрические каталоги наземной аст-



Рис. 8. Окрестности звёздного скопления M13, полученные по данным NOMAD

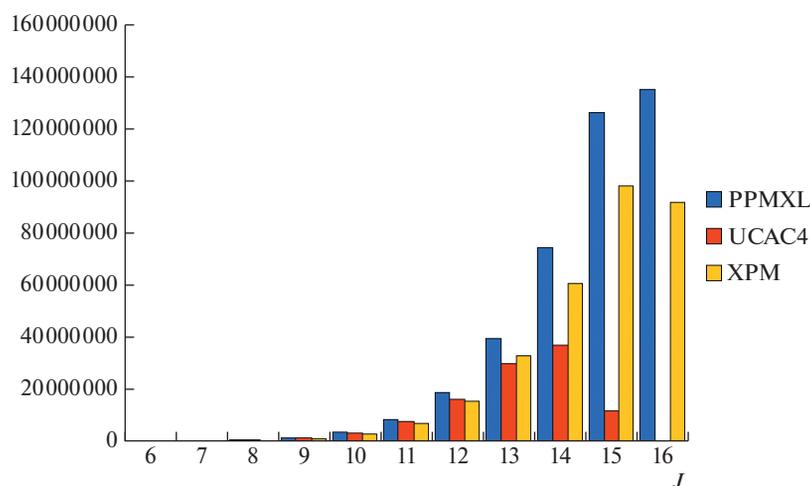


Рис. 9. Распределение звёзд массовых звёздных каталогов по звёздной величине (только те звёзды, у которых есть эти фотометрические данные)

рометрии. Сравнение показывает некоторые систематические различия между ними [29]. Вообще говоря, сравнение данных разных каталогов — классическая астрометрическая задача, позволяющая оценить их точность и уровень ошибок в данных — случайных и систематических. Если влияние первых можно уменьшить путём массовости, то вторые — более опасные. Систематические ошибки, то есть имеющие вид какой-либо функциональной зависимости от координат, блеска звезды, могут быть неправильно интерпретированы как реальные кинематические эффекты. Выявление систематических ошибок — одна из важнейших задач наблюдательной астрометрии [30].

КОСМИЧЕСКАЯ МИССИЯ GAIA

Космический аппарат. После завершения проекта Hipparcos сразу появилась идея новой миссии. Планировалось несколько вариантов, но финансовую поддержку получил проект GAIA (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) [31]. Аппарат, запущенный 19 декабря 2013 г., до сих пор работает на орбите. Стоимость всего проекта, включая обработку данных, приближается к 1 млрд евро.

Принципиально аппарат похож на Hipparcos. GAIA, как и Hipparcos, измеряет дуги (угловые расстояния) между объектами. Оптическая схема телескопа состоит из двух зеркальных телескопов с размером основных зеркал (M1, M1) 1.5×0.5 м (рис. 10). С помощью вспомогательных зеркал оба телескопа проецируют изображение в одну фокальную плоскость, а разделение изображений возложено на цифровую обработку. В отличие от Hipparcos, космический телескоп GAIA не использует так называемый входной ката-

лог — предварительный список звёзд, астрометрические параметры которых уточняются наблюдениями [32]. В GAIA идентификация и классификация объектов происходит прямо на борту аппарата. В фокальной плоскости размещена, по-видимому, самая большая в мире ПЗС-матрица (точнее, мозаика из матриц) (рис. 11) [33].

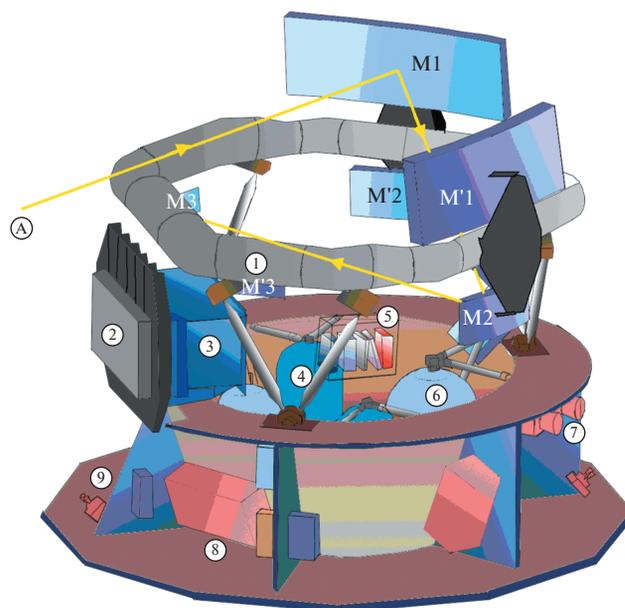


Рис. 10. Схема телескопа GAIA: M1, M2, M3 — зеркала первого телескопа; M'1, M'2, M'3 — зеркала второго телескопа; 1 — система крепления зеркал; 2 — система охлаждения сенсоров; 3 — сборка в фокальной плоскости; 4 — баллон с азотом; 5 — дифракционные решётки спектрографа; 6 — топливный бак; 7 — звёздный датчик; 8 — электроника и батареи; 9 — главная энергетическая установка

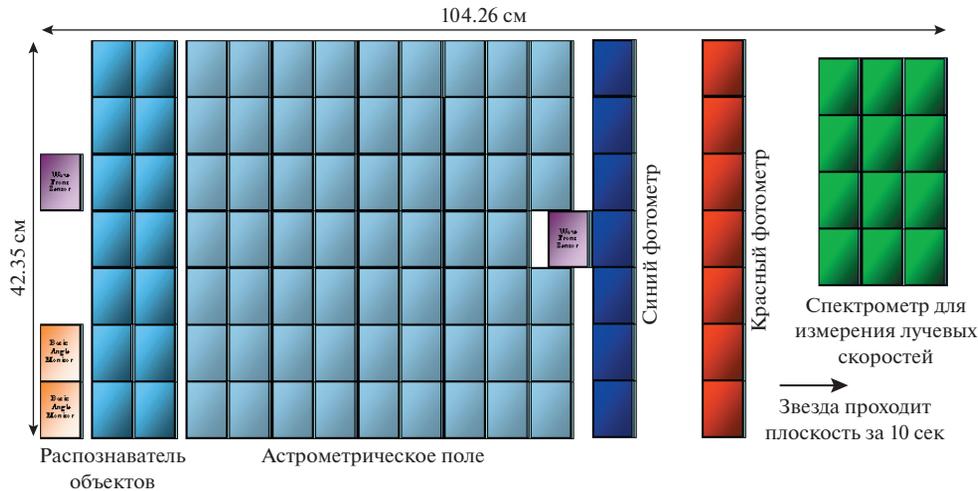


Рис. 11. Мозаика ПЗС-матриц в фокальной плоскости телескопа

Космический аппарат движется вокруг точки Лагранжа L2 системы Земля–Солнце так, чтобы не попадать в тень Земли, при этом он не отдаляется от L2 на расстояние свыше 1 км (рис. 12). Для повышения надёжности первичных данных, а также результатов их анализа ориентировка спутника должна быть известна с точностью около 150 м, а скорость — с точностью до 1 мм/с (рис. 13). В течение 6.5 лет аппарат, медленно вращаясь и прецессируя, сканирует небесную сферу таким образом, чтобы в среднем каждый объект наблюдался не менее 70 раз за весь срок работы спутника (рис. 14). Это даёт возможность определить координаты объекта с точностью 10 микросекунд дуги (мксд) и собственные движения звёзд с точностью 10 мксд/год. Напомним, что GAIA — сканирующий аппарат, поэтому его невозможно навести на конкретный объект и нельзя изменить план наблюдений.

Помимо астрометрических данных, GAIA сразу проводит грубую спектральную классификацию с помощью двухполосного фотометра в диапазонах 330–680 и 640–1050 нм, а также более тонкий спектральный анализ для определения лучевых скоростей и параметров звёздных атмосфер, что в принципе не было реализовано на

Hipparcos [34]. Фотометры также позволяют построить кривые блеска переменных звёзд.

После вычислений для каждой звезды будет получена её траектория на небесной сфере. Пример такой траектории приведён на рисунке 15, где отчётливо виден параллактический эллипс, а его смещение за несколько лет позволяет оценить собственное движение звезды.

Проект GAIA в числах. Финальная версия каталога будет содержать примерно 1.6 млрд объектов. Для 10^6 звёзд ярче 12^m точность определения положений составит около 4 мксд (0.004 мсд), для $30 \cdot 10^6$ звёзд ярче 15^m — 10 мксд, для всех звёзд сла-

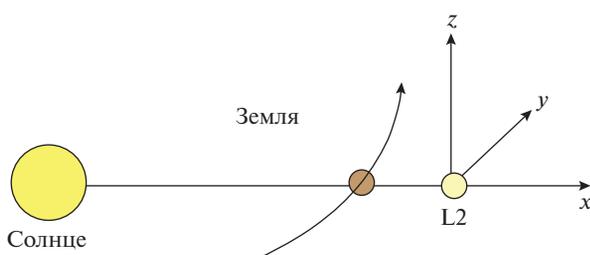


Рис. 12. Местонахождение аппарата — точка L2

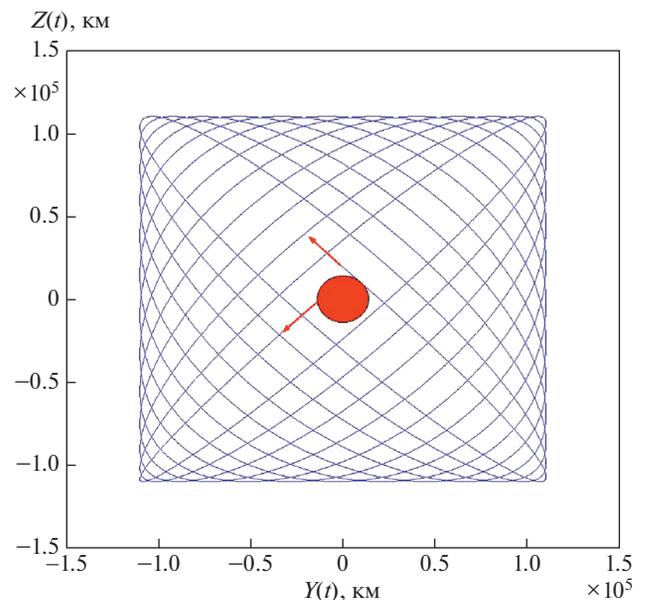


Рис. 13. Орбита аппарата относительно точки Лагранжа L2

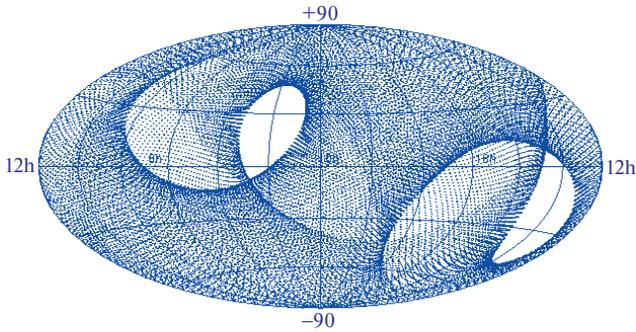


Рис. 14. Сканирование небесной сферы за 100 дней

бее, но ярче 20^m – не менее 150 мксд. Плотность покрытия будет составлять от 25 тыс. до 3 млн звёзд на квадратный градус вблизи галактического экватора.

GAIA определит лучевые скорости 200 млн звёзд (на сегодняшний момент они известны только для 7 млн). Точность лучевых скоростей ярких звёзд ($V < 15^m$) ожидается на уровне 1–2 км/с, более слабых – 5–10 км/с [35].

GAIA проанализирует переменность 100 млн звёзд, определит массы примерно 10 тыс. звёзд, проведёт поиск экзопланет на расстояниях до 200 пк. В зону наблюдения аппарата попадут 500 тыс. малых планет Солнечной системы. А на космологических расстояниях ожидается открытие 500 тыс. (!) новых квазаров.

Проект GAIA представляет собой сложнейшую вычислительную задачу. Для полной обработки данных потребуются выполнить до 10^{21} инструкций с плавающей точкой. Для сравнения можно сказать, что в год запуска GAIA все компьютеры мира выполняли 10^{25} таких операций в

год! Кстати, один из самых больших вычислительных проектов в мире – поиск внеземных искусственных сигналов в радионаблюдениях с помощью распределённых вычислений (программа SETI) – тоже астрономический [36]. Если бы потребовалось затратить всего секунду времени на обработку одного объекта, то пришлось бы ждать 30 лет до выхода финального каталога. Прямой Фурье-анализ всех переменных звёзд занял бы 100 лет, если бы выполнялся на одном ПК.

Для решения этих сложных вычислительных задач на аппарате установлен компьютер, сжимающий “сырые” данные и передающий их на Землю со скоростью 3–8 Мбит/с, которые в свою очередь обрабатываются в специально построенном для этого вычислительном центре в г. Мадриде. Полный объём переданных с космического аппарата сырых данных оценивается в 250 Тбит, распакованные займут 150 Тбайт, а рабочие копии, архивы, тесты – 1 Пбайт [37].

Общая теория относительности в GAIA. Для достижения точности на уровне долей мксд требуется применять релятивистские небесно-механические модели и модели распространения света [38]. Использование ньютоновской модели приведёт к ошибкам в астрометрических данных.

Релятивистская модель наблюдения включает:

- моделирование релятивистской абберации [39];
- учёт релятивистских эффектов в движении спутника вплоть до поправок уровня 0.6 мм/с;
- релятивистские эффекты в распространении света, учёт монополюного гравитационного поля всех больших планет и некоторых их спутников, квадрупольного поля планет-гигантов, то есть учёт несферичности гравитационных полей, влияющие движения тел [40];

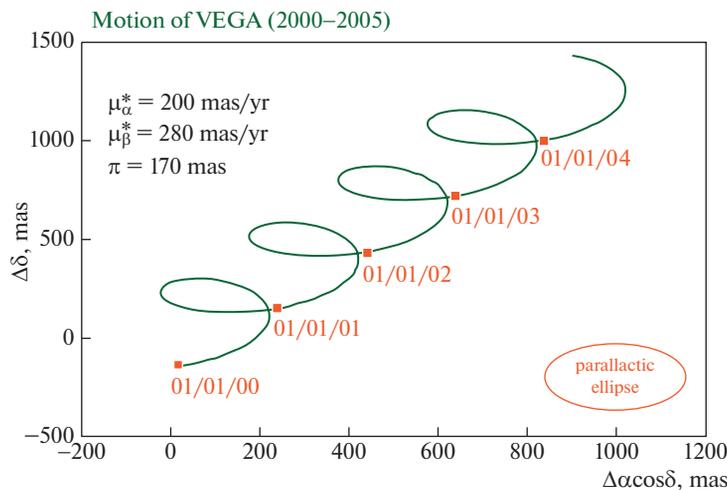


Рис. 15. Пример траектории звезды

Таблица 3. Сравнение релизов каталога GAIA

	DR3	DR2	DR1
Общее количество источников	≈1800 000 000	1 692 919 135	1 142 679 769
Количество источников с пятью параметрами	≈1500 000 000	1 331 909 727	2 057 050
Количество источников с двумя параметрами	≈300 000 000	361 009 408	1 140 622 719
Источники со средней величиной G	≈1800 000 000	1 692 919 135	1 142 679 769
Источники со средней G_{BP} фотометрией	≈1500 000 000	1 381 964 755	–
Источники со средней G_{RP} фотометрией	≈1500 000 000	1 383 551 713	–
Источники с лучевыми скоростями	неизвестно	7 224 631	–
Переменные источники	неизвестно	550 737	3194
Известные астероиды с данными эпохи	неизвестно	14 099	–
Эффективные температуры (T_{eff})	неизвестно	161 497 595	–
Источники с радиусом и светимостью	неизвестно	76 956 778	–

- релятивистские эффекты в движении малых тел Солнечной системы;

- релятивистские эффекты в движении звёзд (эффект Рёмера, микролинзирование).

Долгое время общая теория относительности оставалась дисциплиной, скорее, теоретической и использовалась при описании экстремальных объектов (нейтронных звёзд, чёрных дыр). Но высокоточные наблюдения перевели её в разряд практических дисциплин. Без учёта релятивистских эффектов точности в микросекунды дуги недостижимы. Следует сказать, что релятивистская модель распространения света в Солнечной системе уже применялась при обработке данных Hipparcos [41].

Научные задачи GAIA. В ходе миссии GAIA планируется решить широкий спектр научных задач. Даже краткое их перечисление составляет внушительный список:

- картирование Галактики;
- физика звёзд (классификация, светимость, эффективные температуры, индекс металличности);
- кинематика и динамика Галактики;
- калибровка шкалы космических расстояний;
- уточнение возраста Вселенной;
- распределение тёмной материи в Галактике (микролинзирование, наблюдения “коричневых” карликов);

- построение фундаментальной системы отсчёта, связь радио- и оптической систем через прямое наблюдение квазаров;

- проверка общей теории относительности;
- уточнение модели Солнечной системы.

Особо следует остановиться на задаче калибровки шкалы расстояний [42]. Как упоминалось в начале статьи, расстояние – самый сложный для наблюдения параметр. Метод оценки расстояний до галактик и, в конечном счёте, масштаб всей Вселенной определяется точностью расстояния до цефеид, надёжностью получения зависимости период–светимость. Для калибровки шкалы расстояний аппарату GAIA необходимо измерить:

- параллаксы до цефеид, находящихся ближе 3 кпк, с точностью лучше 1%, а расстояния до всех цефеид в Галактике – с точностью не хуже 4%;
- параллаксы для переменных типа RR Lyg, находящиеся ближе 3 кпк, с точностью 1%, для остальных звёзд этого типа ошибка параллакса не должна превышать 10%;
- параллаксы мирид в Галактике (относительная ошибка – не более 6%);
- параллаксы индивидуальных звёзд в 20 шаровых звёздных скоплениях с точностью 10%, а средние расстояния до всех шаровых скоплений – на уровне 1%;
- параллаксы цефеид в Магеллановых Облаках с точностью 30%, что позволит ответить на вопрос, какова зависимость период–светимость для цефеид в нашей и других галактиках.

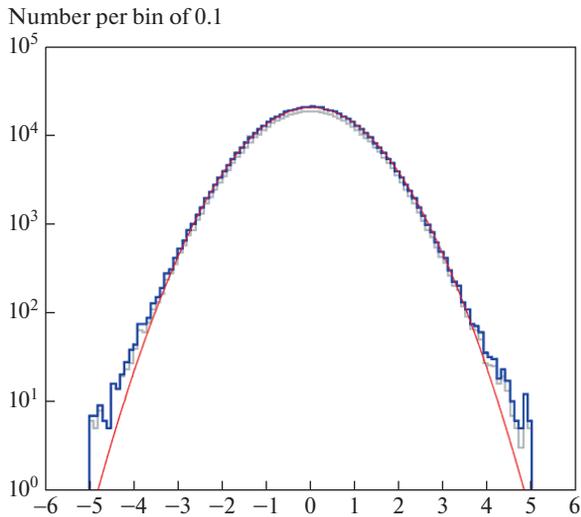


Рис. 16. Распределение параллакс 556 849 квазаров, по данным GAIADR2

Предварительные результаты миссии. В 2016 г. вышел так называемый первый релиз каталога GAIA — GAIA DR1 [43]. Он содержит 11 40 622 719 звёзд, для которых приведены только координаты, и особое подмножество TGAS (Tycho-Gaia Astrometric Solution — 2057050 звёзд с точностью около 0.3 мсд), ставшее комбинацией каталогов Hipparcos, Tycho-2 и данных GAIA. В наборе DR1 также зафиксированы кривые блеска около 3 тыс. цефеид и звёзд типа RR Лиры. Уже первый релиз позволил связать систему каталога с ICRF [44]. С подмножеством TGAS проводились исследования кинематики Галактики и в нашей стране [45].

25 апреля 2018 г. увидел свет второй релиз — GAIA DR2 [46]. Он содержит значительный объём данных, полученных исключительно на космическом аппарате (табл. 3). Однако, по заявлению авторов [47], использовать индивидуальные параллаксы следует с осторожностью. Большое количество звёзд имеет даже отрицательный параллакс. На рисунке 16 представлено распределение параллаксов полумиллиона квазаров (он должен быть нулевым), но, как видно, разброс параллакса для таких объектов составляет ± 5 мсд. В силу этого построение диаграммы Герцшпрунга—Рассела даёт весьма размытую картину (рис. 17а), а если воспользоваться усреднёнными данными о расстоянии для звёзд, принадлежащих рассеянному скоплениям, то картина становится более чёткой (рис. 17б). На этих диаграммах впервые использован показатель цвета $G_{BP} - G_{RP}$ из разности звёздных величин, определённых на аппарате, а не с помощью наземных источников [48].

В декабре 2021 г. вышел так называемый ранний третий релиз каталога [49], в котором есть

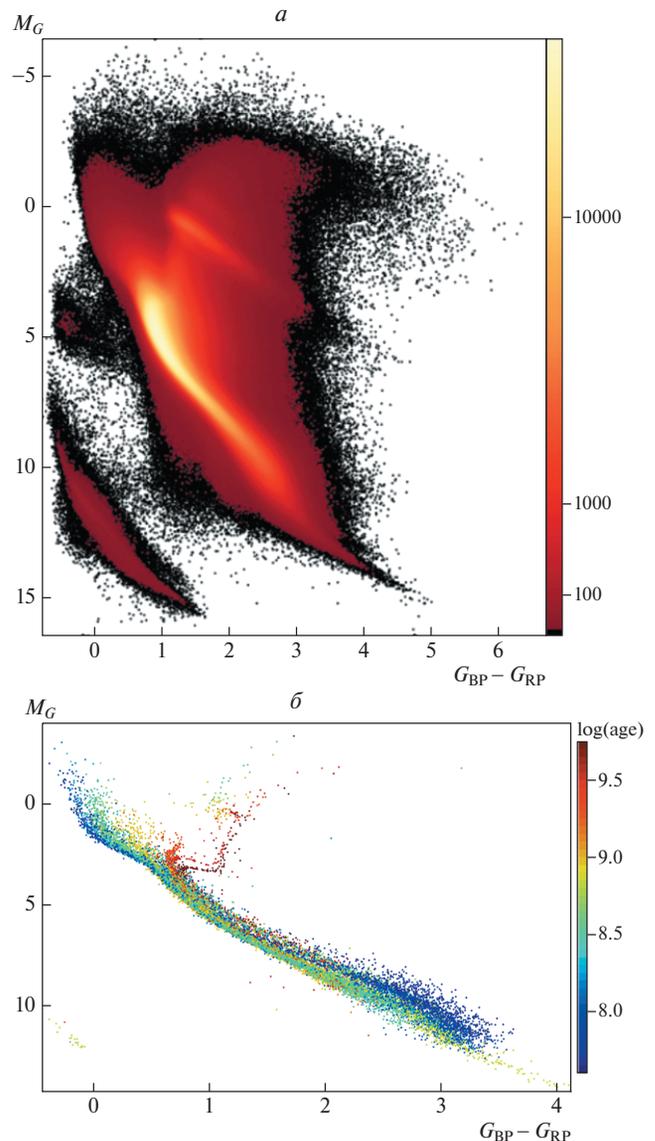


Рис. 17а, б. Диаграммы Герцшпрунга—Рассела для всех звёзд и 32 рассеянных звёздных скопления, по данным GAIADR2

информация о почти 1.5 млрд звёзд, имеющих все 5 астрометрических параметров вплоть до звёзд 21^m . Для такого же количества звёзд представлена улучшенная двухполосная фотометрия. При этом утверждается, что фотометрическая система DR3 отличается от DR2.

Издание первой финальной версии, в которой полностью реализуются заявленные точности, намечен на 2022 г.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-11-00001.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Schaefer B.E.* Discovery of the Lost Star Catalog of Hipparchus on the Farnese Atlas // American Astronomical Society meeting. Abstracts. San Diego, CA. January 9–13, 2005.
2. *Витязев В.В., Гусева И.С., Кияев В.И. и др.* Небесные и земные координаты. Учебное пособие по астрометрической практике. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2011.
3. *Souchay J., Feissel-Vernier M.* The International Celestial Reference System and Frame // ICRS Center Report for 2001–2004.
4. *Киселёв А.А.* Собственные движения “неподвижных” звёзд и их значение в астрономии // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 2. С. 81–84.
5. *Ковалевский Ж.* Современная астрометрия. Фрязино: Век 2, 2004.
6. *Соколовская З.К.* Первые определения звёздных параллаксов. К вопросу о приоритете одного открытия // Вестник АН СССР. 1972. № 3. С. 132–136.
7. *van Altena W.F., Lee J.T., Hoffleit D.* Yale Trigonometric Parallaxes Preliminary (van Altena+ 1991). New Haven, USA: Yale University Observatory, 1995.
8. *Володаров В.П.* Добросовестный наблюдатель // Вестник РАН. 1996. № 12. С. 1104–1107.
9. *Fricke W., Schwan H., Lederle T.* Veroeff. Astron. Rechen-Institut Heidelb. Fifth Fundamental Catalogue (FK5). 1988. № 32.
10. *Roeser S., Bastian U.* Catalogue of Positions and Proper Motions // Astronomy and Astrophysics Supplement. 1988. V. 74. P. 449–451.
11. *Perryman M.* The History of Astrometry // European Physical Journal. 2012. V. 37. № 5. P. 745–792.
12. *Витязев В.В.* Успехи астрометрии // Планетарий. 1999. № 22.
13. *Томпсон Р., Моран Дж., Свенсон Дж.* Радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами. Интерферометрия и синтез в радиоастрономии / Под ред. Л.И. Матвеевко. М.: Мир, 1989.
14. *Матвеевко Л.И.* История РСДБ – становление и развитие. СПб.: Институт прикладной астрономии РАН, 2007.
15. ESA. The Hipparcos and Tycho Catalogues. Noordwijk, the Netherlands: ESA, Publications Division, 1997.
16. *Цветков А.С.* Руководство по практической работе с каталогом Hipparcos. Учебно-метод. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005.
17. *Цветков А.С.* Руководство по работе с каталогом Tycho-2. Учебно-метод. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005.
18. *Arias E.F., Charlot P., Feissel M., Lestrade J.-F.* The Extragalactic Reference System of the International Earth Rotation Service, ICRS // Astron. & Astroph. 1995. V. 303. P. 604–608.
19. Proceedings from the Hipparcos Venice '97 symposium. <https://www.cosmos.esa.int/web/hipparcos/venice-97-proceedings>
20. *Høg E., Fabricius C., Makarov V.V. et al.* The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 Million Brightest Stars // Astron. & Astroph. 2000. V. 355. № 1. P. L27–L30.
21. *Wielen R., Schwan H., Dettbarn C. et al.* Sixth Catalogue of Fundamental Stars (FK6). Part I: Basic Fundamental Stars with Direct Solutions // Veröff. Astron. Rechen-Inst. Heidelberg. 1999. № 35. P. 1–209.
22. *Wielen R., Schwan H., Dettbarn C. et al.* Sixth Catalogue of Fundamental Stars (FK6). Part III: Additional Fundamental Stars with Direct Solutions // Veroeff. Astron. Rechen-Inst. Heidelberg. 2000. № 37. P. 1–307.
23. *Zacharias N., Monet D.G., Levine S.E. et al.* The Naval Observatory Merged Astrometric Dataset (NOMAD). American Astronomical Society 205th Meeting // Bulletin of the American Astronomical Society. 2004. V. 36. P. 1418.
24. *Snyder J.P.* Flattening the Earth: Two Thousand Years of Map Projections. Chicago, USA: University of Chicago Press, 1993.
25. *Zacharias N., Finch C.T., Girard T.M. et al.* The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4) // Astron. J. 2013. V. 145. № 2. P. 1–14.
26. *Skrutskie M.F., Cutri R.M., Stiening R. et al.* The Two Micron All Sky Survey (2MASS) // Astron. J. 2006. V. 131. № 2. P. 1163–1183.
27. *Roeser S., Demleitner M., Schilbach E.* The PPMXL Catalog of Positions and Proper Motions on the ICRS. Combining USNO-B1.0 and the Two Micron All Sky Survey (2MASS) // Astron. J. 2010. V. 139. № 6. P. 2440–2447.
28. *Fedorov P., Myznikov A., Akhmetov V.* The XPM Catalogue. Absolute proper motions of 280 million stars // MNRAS. 2009. V. 393. № 1. P. 133–138.
29. *Vityazev V., Tsvetkov A.S., Petrov S.D., Trofimov D.A.* Comparison of XPM and UCAC4 catalogues in the Galactic coordinate system // Astron. Nachr. 2016. <https://doi.org/10.1002/asna.201613220>
30. *Vityazev V.V., Tsvetkov A.S.* Comparisons of the Galactic coordinate frames realized by the catalogues PPMXL and UCAC4 // MNRAS. 2016. V. 461. № 3. P. 2410–2425.
31. ESA. Gaia Science Community. <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia>
32. *Turon C., Gomez A.E., Morin D.* The Hipparcos Input Catalogue // Astron. & Astroph. 1992. V. 258. P. 74–81.
33. ESA. GAIA Spacecraft summary. <https://sci.esa.int/web/gaia/-/28820-summary>
34. ESA. Focal plane. <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/focal-plane>
35. ESA. Radial Velocity with Gaia. <https://sci.esa.int/web/gaia/-/31367-radial-velocity>
36. *Гундилис Л.М.* SETI в России: последнее десятилетие XX века // Земля и Вселенная. 2000. № 5. С. 39–48.
37. ESA. Gaia Data Processing and Analysis Consortium. <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac>
38. *Crosta M., Vecchiato A.* Gaia relativistic astrometric models // Astron. & Astroph. 2010. V. 509. № A37. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/200912691>
39. *Prete G., de Felice F.* Relativistic satellite astrometry at μ arcsec precision and the measurement of the stellar

- aberration // *Astron. & Astroph.* 2010. V. 513. № A68. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/200913555>
40. *Klioner S.* A Practical Relativistic Model of Microarcsecond Astrometry in Space // *Astron. J.* 2001. V. 125. № 3. P. 1580–1597.
41. *The Hipparcos and Tycho Catalogues. V. 3. Chapter 16.* European Space Agency, 1997.
42. *Turon C., Luri X., Masana E.* Building the cosmic distance scale: from Hipparcos to Gaia, *Astrophysics and Space Science.* 2012. V. 341. P. 15–29.
43. *Brown A., Vallenari A., Prusti T. et al.* Gaia Data Release 1 // *Astron. & Astroph.* 2016. V. 595. № A2. P. 1–23.
44. *Mignard F., Klioner S., Lindegren L. et al.* Gaia Data Release 1: Reference frame and optical properties of ICRF sources // *Astron. & Astroph.* 2016. V. 595. № A5. P. 1–16.
45. *Vityazev V.V., Popov A.V., Tsvetkov A.S. et al.* Kinematics of stars from the TGAS (Gaia DR1) Catalogue // *Astron. Letters.* 2018. V. 44. № 4. P. 236–247.
46. *Brown A., Vallenari A., Prusti T. et al.* Gaia Data Release 2 // *Astron. & Astroph.* 2018. V. 616. № A2.
47. *Luri X., Brown A.G.A., Sarro L.M. et al.* Gaia Data Release 2: Using Gaia parallaxes // *Astron. & Astroph.* 2018. V. 616. № A9. P. 1–19.
48. *ESA. Gaia Collaboration.* Gaia Data Release 2. Observational Hertzsprung-Russell diagrams // *Astron. & Astroph.* 2018. V. 616. № A10. P. 1–29.
49. *ESA.* Gaia Early Data Release 3. <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/earlydr3>

ГЛОБАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА¹

© 2021 г. В. Г. Варнавский

*Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных отношений
им. Е.М. Примакова РАН, Москва, Россия*

E-mail: varnavsky@imeto.ru

Поступила в редакцию 14.05.2020 г.

После доработки 01.10.2020 г.

Принята к публикации 15.10.2020 г.

В статье рассматриваются ключевые аспекты развития мировой транспортно-логистической инфраструктуры в условиях глобализации. Классифицированы внешние и внутренние факторы бурного развития транспорта и инфраструктуры в последние десятилетия. Показано, что феномены глобализации и контейнеризации привели к повышению значимости морских портов как опоры международной торговли и глобальных производственно-сбытовых цепочек в трансконтинентальных направлениях. Особое внимание уделено обзору трансконтинентальной торговли промышленными товарами в треугольнике Европа–Азия–Северная Америка. Дан анализ инвестиционных процессов в транспортно-логистической инфраструктуре развитых и развивающихся стран.

Ключевые слова: транспорт, логистика, инфраструктура, глобализация, контейнеризация, международная торговля, обрабатывающая промышленность, инвестиции.

DOI: 10.31857/S0869587321020110

Глобализация и информационно-коммуникационные технологии (ИКТ) дали мощный толчок развитию многих отраслей и сфер экономики. К числу таких отраслей относится транспортный комплекс и соответствующая ему инфраструктура. Причём речь идёт не только о количественных, но и о качественных показателях, характеризующих этот комплекс, а также о новых транспортных услугах и сервисах: контейнерных перевозках, логистике, сюрвейерских и прочих услугах.

¹ Статья перепечатывается из журнала “Мировая экономика и международные отношения” (2020. № 1. С. 5–14).

Во многом современное состояние и перспективы развития глобальной транспортной инфраструктуры определяются динамикой и структурой международной торговли, а также технологическим прогрессом в транспортном комплексе и его отдельных отраслях. Важнейшую роль в этом играют правительства, финансирующие инфраструктурные проекты на различных условиях (бюджет, софинансирование, льготное кредитование, государственно-частное партнёрство и т.д.), поскольку в большинстве стран инфраструктура находится в их собственности или непосредственной ответственности.

ДРАЙВЕРЫ И ТРЕНДЫ

По мере усиления и расширения процессов глобализации значение транспортного комплекса в развитии мировой экономики неуклонно возрастало. Связано это с действием как внутренних, так и внешних по отношению к транспорту факторов и условий, укладываемых в концепцию глобализации или вытекающих из неё. Главным макроэкономическим фактором, определившим высокую динамику развития всех видов транспорта и сопутствующей им инфраструкту-



ВАРНАВСКИЙ Владимир Гаврилович — доктор экономических наук, профессор, заведующий сектором ИМЭМО им. Е.М. Примакова РАН.

ры, в последние десятилетия выступал опережающий рост международной торговли, особенно продукцией обрабатывающей промышленности, в сравнении с другими показателями мировой экономики и производства. По данным различных организаций (Мировой банк, ВТО, ИМЭМО РАН) и в зависимости от методик расчёта в международный торговый оборот товаров и коммерческих услуг в настоящее время вовлечено около 21% производимой в мире продукции². В 1990 г. аналогичный показатель составлял 13.7%³. Объём мировой торговли продукцией обрабатывающей промышленности⁴ в 2017 г. составил 11.4 трлн долл. США (данные ВТО). В том числе в межконтинентальных направлениях — 4.5 трлн долл. США (39.5% всей мировой торговли продукцией этой отрасли).

Основные потоки продукции обрабатывающей промышленности в межстрановом сообщении идут внутри трёх регионов мира — Европа, Азия, Северная Америка и составляют в настоящее время примерно 58% объёма её мировой торговли (табл. 1). По каналам межконтинентальной торговли в треугольнике Азия — Европа — Северная Америка в 2017 г. прошло товаров на сумму 3.6 трлн долл. На этих трёх главных глобальных направлениях реализуется почти 1/3 общего объёма внешней торговли продукцией обрабатывающей промышленности.

Наряду с международной торговлей к числу внешних детерминант, обусловивших высокие темпы развития транспортного комплекса, отно-

сятся также: углубление международного разделения труда и фрагментация производства, повышение скорости обновления основных фондов, снижение длительности жизненного цикла потребительских товаров, рост мобильности населения.

Кроме внешних, имеется группа внутренних драйверов в развитии самого транспорта, придавших динамике отрасли дополнительные положительные импульсы: контейнеризация, активная цифровизация на транспорте, использование компьютерных технологий и сетей, появление современной логистики и систем оптимизации товарных и пассажирских потоков, использование в производстве и частной жизни новых форм торговли (интернет-торговля), обострившаяся конкуренция между видами транспорта за грузы и пассажиров. Всё это вместе взятое способствовало существенному снижению транспортных издержек, повышению эффективности отрасли и её привлекательности для инвестиций.

Интегратором транспортных сетей в межконтинентальном сообщении с началом глобализации стал контейнер. Контейнерные перевозки — это относительно новый вид транспорта, быстрое распространение которого происходило на фоне начавшейся компьютерной революции, разработки логистических схем и моделей и бурного роста международной торговли.

Грузовой контейнер появился на транспортном рынке во второй половине 1950-х годов и за несколько десятилетий произвёл переворот в транспортном процессе, обеспечил качественный сдвиг в структуре перевозок и вызвал сильное снижение издержек в отрасли. “За последние несколько десятилетий транспортная инфраструктура Соединённых Штатов была глобализована с помощью морского контейнера — объекта, который несёт в себе огромные объёмы мировой торговли”, — говорится в одном из американских исследований [6, p. v].

К настоящему времени морские контейнерные перевозки заняли достойное место в мировой торговле товарами и по стоимости значительно (почти в 2 раза) превосходят морскую транспортировку нефти, продуктов нефтепереработки, газа и насыпных грузов вместе взятых. В 2017 г. контейнерами было перевезено продукции обрабатывающей промышленности на сумму 4.5 трлн долл. США⁵, в то время как объём мировой торговли углеводородами был равен 1.96 трлн долл., а сырьём — 674 млрд долл. По тоннажу контейнерные перевозки составляли в 1990 г. только 5.8% общего объёма морских перевозок, но к 2017 г. их удельный вес увеличился до 17.1% [7, p. 9].

⁵ Расчёты автора, основанные на данных ВТО по межконтинентальным потокам продукции обрабатывающей промышленности.

² Оценка автора, основанная на следующих данных: мировой ВВП 2018 г. по валютному курсу — 85 трлн долл. [1, с. 15]; мировой экспорт 2019 г. по валовой стоимости — 25 трлн долл. США [2, p. 10]; чистая стоимость глобальной внешней торговли — 72% от её значения по валовой стоимости [3, p. 4]. В расчёте использованы данные ВВП по валютному курсу, а не по паритету покупательной способности валют (ППС), так как совершение внешнеторговых сделок их участниками привязывается к курсу валют, а не к ППС. Пересчёт валовых показателей мировой торговли по чистой стоимости произведён на основе данных ЮНКТАД. Однако в любом случае полученное значение нельзя признать корректным и “чистым” в экономическом смысле — соотношение мирового экспорта и ВВП не имеет экономической интерпретации, поскольку экспорт не является агрегатом ВВП: в ВВП входит не экспорт, а сальдо экспорта-импорта, соответственно доля экспорта в ВВП не может быть рассчитана ни по какой методике.

³ Оценка получена автором на основе следующих данных: объём внешней торговли — 4.3 трлн долл. США [4]; мировой ВВП по валютному курсу 22.6 трлн долл. США [5].

⁴ В данной статье в основном анализируются внешнеторговые потоки продукции обрабатывающей промышленности. Стоимостное выражение экспортно-импортных операций добывающих отраслей (нефть, нефтепродукты, газ, минеральное сырьё и пр.) имеет высокую волатильность, что приводит к искажениям объективно складывающихся трендов мировой торговли товарами. По этой же причине для транспортного комплекса, когда это возможно, используются динамические ряды в натуральных, а не стоимостных показателях.

Таблица 1. Внутри- и межконтинентальные потоки продукции обрабатывающей промышленности, 2017 г., млрд долл.

Импортёр \ Экспортёр	Европа	Азия	Африка	Северная Америка	Южная Америка	Австралия
Европа	3442	571	129	493	84	42
Азия	824	2317	132	1036	142	121
Африка	46	13	30	8	2	1
Северная Америка	280	338	16	860	107	26
Южная Америка	19	13	2	56	72	1
Австралия	4	20	1	7	1	7

Источник: Рассчитано автором по базе данных ВТО: <http://data.wto.org/>.

С массовым внедрением контейнеризации в транспортировку грузов, особенно в морскую на межконтинентальных направлениях, соответствующая наземная инфраструктура была полностью преобразована. Появились новые причалы, краны, портовая техника, складские помещения, подъездные пути и пр. Контейнер не только позволил существенно сократить время погрузки и разгрузки грузов, но и оказал определяющее влияние на глобальный доступ к товарным рынкам. Современные масштабы и номенклатура массовых перевозок промышленных товаров, межконтинентальной торговли были бы невозможны без контейнеризации и логистики.

Появление компьютера стало основой другого революционного преобразования на транспорте — логистики поставок, которая занимается управлением запасами, перевозками, складированием грузов и т.п. Логистика также включает внутренние и внешние по отношению к транспортировке распределительные сети. Появились мощные логистические системы организации перемещения товаров с одного континента на другой с оптимизацией маршрута доставки товаров от производителя к потребителю за минимальное время. В логистику включаются также: проведение груза через транспортные процедуры, выбор транспортного средства, разработка документации и комплектование груза. Логистика, как система управления потоками, вошла в процесс транспортировки на всех её этапах и выросла до самостоятельной отрасли. Издержки на логистику, если их отделить от затрат на собственно перевозочный процесс, составляют до половины всех транспортных расходов. Современные комплексные транспортно-логистические системы основаны на таких инновационных инструментах, как цифровые платформы, прогнозная аналитика, анализ эффек-

тивности и др. Они нацелены на то, чтобы помочь участникам рынка оптимизировать операции, сократить расходы и время, гарантируя надёжность поставки, сохранность груза, его качество и потребительскую стоимость.

Важным фактором в развитии транспорта стало строительство мощных мультимодальных транспортно-логистических центров по перегрузке, обработке, хранению, распределению, комплектованию грузов, а также информационного и правового сопровождения товарных потоков, в первую очередь на трансконтинентальных направлениях. Такие центры позволили принимать и обрабатывать значительные объёмы продукции, сохраняя высокое качество товаров в процессе транспортировки и перегрузки с одного вида транспорта на другой, и одновременно минимизировать сроки доставки от производителя или продавца к покупателю.

Действие всех этих внешних и внутренних детерминант в совокупности выразилось в более высоких темпах роста отраслей транспортного комплекса по сравнению с экономикой в целом, что наблюдалось вплоть до мирового финансово-экономического кризиса 2008–2009 гг., а в некоторых его отраслях — и в восстановительном периоде (табл. 2).

Опережающая динамика показателей развития транспортного комплекса по сравнению с мировым валовым внутренним продуктом (ВВП) является характерной чертой для всех видов транспорта. Даже экономический кризис, в ходе которого мировой ВВП сократился на 2,5%, а мировая торговля на 12% (2009 г. по отношению к 2008 г.), не смог переломить общего повышательного тренда роста грузовых перевозок. Уже в 2010 г. прирост мировой торговли составил 14% по сравнению с 2009 г.

Таблица 2. Темпы ежегодного прироста основных показателей развития мировой экономики и транспорта, % (в среднем за период)

Показатель	Периоды, годы	
	1996–2005	2005–2015
Мировой ВВП	3.7	2.6
Мировой экспорт	5.9	2.8
Грузовые перевозки:		
морские, контейнерные	6.4	2.9
железнодорожные	4.0	1.2
автомобильные	6.9	1.0
Пассажирские перевозки	4.2	4.1

Примечание: для проведения расчётов объёма перевозок использовались натуральные показатели: млн контейнеров (TEU), млн т-км (грузоперевозки), млн пассажиро-км (пассажирские перевозки), для ВВП и мирового экспорта – долл. США в постоянных ценах.

Источники: составлено или рассчитано автором по базам данных Мирового банка, ВТО, ОЭСР.

ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС

По материально-вещественной форме в транспортном комплексе выделяются две главные составляющие: транспортные средства и инфраструктура. Если первая из них практически повсеместно находится в частной собственности и представляет собой высоко конкурентный сегмент экономики, то подавляющая часть инфраструктуры (автомобильные и железные дороги, морские и речные порты, аэропорты, подъездные пути, системы навигации, информационного обеспечения, безопасности и пр.) имеет признаки естественной монополии, принадлежит государству и финансируется в значительной степени из государственных бюджетов, а также на основе государственно-частного партнёрства (ГЧП). Одновременно правительства всех стран широко привлекают бизнес в качестве операторов, инвесторов, эксплуатирующих организаций на различных этапах создания и использования объектов транспортной инфраструктуры.

В современной глобальной транспортно-логистической инфраструктуре особых узких мест и проблем нет. Она практически полностью удовлетворяет существующий спрос на межстрановые и межконтинентальные перевозки грузов и пассажиров, обеспечивает международную торговлю товарами в полном объёме. Её расширение и модернизация происходит эволюционно и примерно соответствует росту международной торговли и степени включения стран в глобальные цепочки создания стоимости.

По странам и регионам развитие транспортной инфраструктуры идёт неравномерно. Развитые страны, как в целом, так и ведущие из них, значительно уступают развивающимся государствам по объёмам строительства современной инфраструктуры, техническим характеристикам сооружаемых объектов, конкурентоспособности этого сегмента экономики, доле расходов на транспортную инфраструктуру в ВВП. Это объясняется глубокими структурными сдвигами в пространственном размещении производительных сил в мировой экономике в пользу развивающихся стран, главным образом, Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР).

В Европе и США транспортная инфраструктура складывалась, в основном, в течение XX столетия по мере создания новых шоссе и железных дорог, аэропортов, терминалов морских портов, других объектов. Её современный облик и топология сформировались после Второй мировой войны. Большая часть транспортной инфраструктуры построена в 1950–1970-е годы или даже ранее и к настоящему времени в определённой мере физически и морально устарела. В первую очередь это касается капиталоемких объектов – железнодорожных и аэровокзальных сооружений, морских и речных терминалов, подъездных путей к портам и аэропортам. Например, США по состоянию на 2012 г. имели неудовлетворённых потребностей в капиталовложениях в автомобильные дороги и мосты на сумму 836 млрд долл. (оценка Министерства транспорта США) [8, p. xlv].

Основные фонды транспортной инфраструктуры, спроектированные и построенные в Европе 50 и более лет назад, не были рассчитаны на темпы производственного развития, урбанизации, автомобилизации, мобильности населения, которые характерны для мировой экономики начиная со второй половины 1980-х годов. Внутригородские автомобильные дороги зажаты зданиями и сооружениями. Во всех крупных европейских городах практически полностью отсутствует возможность строить магистрали. Многие аэропорты к настоящему времени оказались расположенными в городской черте. Морские порты, находящиеся в пределах городов, также невозможно расширять, не ущемляя интересов населения и не нарушая экологической обстановки. Разрушение и устаревание инфраструктуры приводит к повышению издержек для общества, негативно отражается на производительности труда, эффективности, ведёт к снижению конкурентоспособности национальных экономик, росту числа несчастных случаев, аварий и катастроф.

Несомненно, развитые страны имеют более разветвлённую транспортно-инфраструктурную сеть в расчёте на единицу площади или на одного

жителя в сравнении с развивающимися государствами. Их инфраструктурные объекты модернизируются, реконструируются в направлении удовлетворения современных стандартов обслуживания, безопасности, контроля, информационного обеспечения. Для этого используются новейшие техника, технологии и материалы. В целом инфраструктура развитых стран соответствует мировому уровню. Но её качество по многим позициям уступает транспортной инфраструктуре развивающихся экономик.

Высокие темпы экономического роста в развивающихся странах в последние десятилетия были бы невозможны без создания мощной транспортной инфраструктуры. Масштабное инфраструктурное строительство в этих странах стимулировало экономический рост, в частности, за счёт создания дополнительного спроса на продукцию отраслей промышленности (машиностроения, металлургии, металлоконструкций, стройматериалов и т.д.), а кроме того, обеспечивало активное включение их экономик в международное разделение труда и в мировую торговлю.

Активная фаза строительства транспортной инфраструктуры в развивающихся странах началась в 1980–1990-х годах, захватывала всё новые государства и продолжалась по инерции в течение нескольких лет после кризиса 2008–2009 гг., хотя и более низкими темпами. Инфраструктурные объекты в этой группе стран сооружались по новейшим технологиям, самым современным стандартам качества и безопасности. По степени удовлетворения потребностей пользователей они соответствовали сооружениям, возводимым с нуля в западных странах. В результате в развивающихся странах затраты на транспортную инфраструктуру повышались в докризисный период более высокими темпами, чем их ВВП. Максимальные оценки этого показателя приходятся на начало 2000-х годов. По оценке Международного транспортного форума (*The International Transport Forum, ITF*) доля расходов на транспортную инфраструктуру в совокупном ВВП этой группы стран увеличилась за 30 лет более чем в 1.5 раза, достигнув в 2008 г. 3.1% (табл. 3).

В инвестиционном процессе развитых стран рассматриваемые годы происходил противоположный процесс – доля расходов на транспортную инфраструктуру в их ВВП имела выраженную тенденцию к снижению, причём существенно – на 0.2 п.п., что соответствует уменьшению почти на 13% по отношению к её базовому значению 1980 г. (оценка *ITF*, табл. 3). По оценкам ОЭСР, она также сократилась примерно на 0.2 п.п., но в другом диапазоне – с 1.05% в 1995 г. до 0.805% в 2011 г. [10, р. 6].

Таблица 3. Доля инвестиций в транспортную инфраструктуру в ВВП, %

Группы стран	Отраслевой комплекс	Годы	
		1980	2008
Развивающиеся	Транспортная инфраструктура	1.9	3.1
	Инфраструктура в целом	3.5	5.7
	Всего инвестиций в экономику	~20	~25
Развитые (ОЭСР)	Транспортная инфраструктура	1.5	1.3
	Инфраструктура в целом	3.6	2.8
	Всего инвестиций в экономику	24.3	20.9

Источник: [9, р. 104].

Относительно низкие уровни долевых показателей в странах ОЭСР объясняются тем, что к началу 1980-х годов транспортная инфраструктура в них в основном была создана. Жизненный цикл и срок службы её объектов составляет 30–50 лет и более. Например, нормативный жизненный срок мостов для высокоскоростных автомагистралей в США равен 50 годам [11, р. 9–34]. Поэтому особой необходимости в крупных инвестициях в этот комплекс в 1990-х – начале 2000-х годов не возникало, достаточно было поддерживать объекты в эксплуатационном состоянии и проводить их модернизацию на современной технической и технологической основе, что значительно дешевле нового строительства.

Однако с наступлением кризиса 2008–2009 гг. положение с затратами на инфраструктурное развитие в транспортной сфере во всём мире существенно изменилось – повышательные тенденции, если они и были в отдельных странах, сменились общим трендом к стабилизации расходов на транспортную инфраструктуру на относительно низком уровне или даже сокращению (табл. 4). Так, в странах Центральной и Восточной Европы удельные показатели расходов на транспортную инфраструктуру в их ВВП сократились в последние годы почти в 2 раза по сравнению с докризисным периодом. В России они уменьшились на 60–70%. В США доля инвестиций в транспортную инфраструктуру в течение всех 2000-х годов оставалась на стабильном, но относительно низком уровне (0.6% ВВП), что хорошо видно из данных таблицы 5. Во всех ведущих странах ЕС (Германия, Франция, Италия, Испания) и в Японии происходило снижение этого показателя.

Таблица 4. Доля инвестиций в транспортную инфраструктуру в ВВП, %

Страна/Регион	Год									
	1998	2004	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Западная Европа	0.81	0.88	0.86	0.89	0.88	0.81	0.79	0.74	0.75	0.70
ЦВЕ	0.93	1.35	1.61	1.81	1.93	1.69	1.76	1.22	1.02	0.99
Северная Америка	0.61	0.56	0.63	0.65	0.70	0.71	0.69	0.66	0.64	0.63
Австралия и Новая Зеландия	1.13	1.11	1.37	1.51	1.52	1.54	1.73	1.73	1.50	1.34
Япония	1.90	1.32	1.21	1.18	1.29	1.13	1.08	1.06	1.04	1.03
Россия	1.40	1.47	1.35	1.72	1.46	1.33	1.36	1.32	1.26	1.17
Индия	н/д	0.73	0.94	1.06	0.99	0.90	0.77	0.80	0.89	0.88

Примечание:

н/д – нет данных;

Западная Европа, включая Австрию, Великобританию, Германию, Грецию, Данию, Израиль, Ирландию, Исландию, Испанию, Италию, Люксембург, Мальту, Нидерланды, Норвегию, Португалию, Турцию, Финляндию, Францию, Швейцарию, Швецию;

регион ЦВЕ включает: Албанию, Болгарию, Венгрию, Латвию, Литву, Польшу, Румынию, Сербию, Словакию, Словению, Хорватию, Черногорию, Чехию, Эстонию;

Северная Америка включает США, Канаду, Мексику.

Источник: [12, p. 41].

Отсутствие резких колебаний показателя удельных затрат на транспортную инфраструктуру в ВВП на протяжении десятилетий объясняется экономической природой такого рода инвестиций – капиталовложения в инфраструктурные объекты слабо подвержены конъюнктурным колебаниям и мало чувствительны к изменению макроэкономических параметров развития, поскольку осуществляются на основе принятых правительствами долгосрочных инвестиционных программ. В Великобритании, например, инвестиционный план инфраструктурного развития составлен на период до 2040 г. [подробнее см. 14].

Таблица 5. Объём и доля инвестиций в транспортную инфраструктуру в ВВП основных развитых стран

Страна	Доля в ВВП, %				Объём, млрд евро, 2018 г.
	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2018 г.	
США	0.7	0.6	0.6	0.5	91.3
Германия	0.9	0.6	0.6	0.7	22.7
Франция	0.9	0.9	0.9	0.8	19.8
Италия	0.9	1.3	1.4	0.4*	7.1*
Испания	1.0	1.5	1.4	0.5	5.6
Япония	1.7	1.2	1.1	1.0*	42.5*

* 2016 г.

Источник: [13].

И даже во время спада производства правительства развитых стран часто не сокращают, а наращивают инвестиции, в том числе и в транспортно-инфраструктурный комплекс, рассчитывая на кумулятивный эффект для экономики, что было продемонстрировано, в частности, в ходе кризиса 2008–2009 гг.

ПЕРСПЕКТИВЫ

Наблюдающийся в последние годы относительно низкий уровень инвестиционной деятельности в отраслях транспортной инфраструктуры ведущих развитых стран всё же обеспечивает возможности расширенного воспроизводства. Происходящее в отдельные годы абсолютное сокращение затрат по этой статье не является критическим. В то же время такое положение не может продолжаться долго. Инфраструктура устаревает, и чем дольше правительства этих стран будут откладывать решение вопроса о её модернизации и расширении, тем тяжелее могут оказаться последствия для экономики и общества. Отставание ведущих стран по уровню и конкурентоспособности инфраструктуры может быть преодолено только за счёт масштабных инвестиций. Отдача от инвестиций в объекты инфраструктуры наступает через много лет, поэтому существенно наращивать объёмы инфраструктурного строительства нужно уже в ближайшие годы.

Следует заметить, что тенденции опережающего роста развивающихся стран по сравнению с развитыми государствами по показателям инве-

Таблица 6. Потребность в инвестициях в транспортную инфраструктуру в странах G20, млрд долл. США, по ППС, в ценах 2008 г.

Отрасль	Ежегодные инвестиции		В целом за период	
	2009–2015 гг.	2015–2030 гг.	2009–2015 гг.	2015–2030 гг.
Аэропорты	70	120	400	1800
Порты	33	40	200	630
Железные дороги	130	270	920	4060

Источник: [16, р. 56].

стиций в транспортную инфраструктуру и повышения их конкурентоспособности вряд ли корректно автоматически экстраполировать на десятилетия вперед. Пройдет несколько лет, и развитые страны вынуждены будут начать масштабную реконструкцию и новое строительство инфраструктурных объектов. Например, в США сейчас подходит к концу нормативный срок службы основной части высокоскоростных автомагистралей, построенных в 1960–1970-е годы. Вследствие этого затраты на их реконструкцию и модернизацию должны увеличиваться в будущем повышенными темпами. Этой цели служит, в частности, объявленная президентом Д. Трампом в 2018 г. Программа восстановления инфраструктуры (*Rebuilding Infrastructure in America*) [15]. По оценкам министерства транспорта США, только для поддержания сети высокоскоростных автомагистралей страны на уровне 2008 г. необходимо ежегодное увеличение финансирования на 1.31% в реальном выражении, а для улучшения – не менее 2.88% [11, р. 7, 8]. На обеспечение условий и качества автомобильных дорог страны на уровне 2012 г. требуется ежегодно около 90 млрд долл. Чтобы повысить качественные показатели на 4.5%, нужно дополнительно инвестировать по 15 млрд долл. ежегодно до 2032 г., а на 14% – 53 млрд долл. [8, р. xlv].

Из всей транспортной инфраструктуры железные дороги являются самой капиталоемкой отраслью. По оценке ОЭСР, до 2030 г. в эту отрасль странам “двадцатки” потребуется вкладывать ежегодно около 270 млрд долл., чтобы обеспечить поддержание и расширение сети, что более чем в 2 раза превышает объем ежегодных инвестиций в 2009–2015 гг. (табл. 6). ОЭСР в своих прогнозах развития железнодорожной инфраструктуры в США также исходит из необходимости увеличения в 1.5 раза ежегодных расходов на эту отрасль на период до 2030 г. [16, р. 60]. Если в 2009–2015 гг. инвестиции в новое строительство и реконструкцию железных дорог составляли 10 млрд долл. в год (в постоянных ценах 2005 г.), то в 2015–2030 гг. эта цифра должна увеличиться, согласно оценке ОЭСР, до 15 млрд долл. Наиболее высокие показатели роста инвестиций в железнодорожное хо-

зяйство, по-видимому, будут в ЕС, Индии и Китае. ОЭСР в своем прогнозе закладывает для ЕС и Китая двукратное, а для Индии – более чем трёхкратное увеличение таких инвестиций в реальном выражении на период до 2030 г. [16, р. 60]. Это связано как с необходимостью глубокой реконструкции железных дорог (ЕС, Индия), так и новым их строительством (Китай, Индия).

Портовая и автодорожная инфраструктура развитых стран тоже находится не в лучшем состоянии, но её уровень не является критическим. Доходы портов за счёт контейнерных перевозок значительные. Средства на содержание и расширение их инфраструктуры выделяются, показатели безопасности движения и качества объектов высокие. Поэтому в будущем, по-видимому, темпы прироста инвестиций в морские порты будут не столь существенными, как в железные дороги, хотя ОЭСР и Международный транспортный форум оценивают прирост к 2030 г. объёма морских контейнерных перевозок, связанных с международной торговлей, в размере 100% от уровня 2013 г. [17, р. 32]. Максимальный рост морских контейнерных перевозок к 2030 г. будет наблюдаться в Юго-Восточной Азии (+143 млн контейнеров). В относительном выражении наибольший прирост портовых мощностей (как контейнерных, так и по перевалке других грузов) потребуется в Южной Азии (193%), Юго-Восточной Азии (163%), Северной Африке (138%) и Западной Африке (137%) [17].

Из всех отраслей транспортной инфраструктуры особенно тяжёлая ситуация в ближайшие десятилетия, как представляется, будет складываться с аэропортами в развитых странах, что требует значительного роста инвестиций в их модернизацию, а чаще – в строительство новых аэропортов. За последние 30–40 лет авиационная мобильность населения стран Европы и Америки выросла в несколько раз. Урбанизация и миграция привели к тому, что города поглощают аэропорты, создавая угрозу безопасности не только пассажирам, но и проживающему в их зоне населению. В результате этих процессов в обществе и власти растёт осознание необходимости разра-

ботки и реализации для крупнейших мегаполисов мира новой транспортной топологии (модели), которая заключалась бы, во-первых, в перенесении устаревших вокзальных и аэропортовых комплексов далеко за городскую черту (порядка 100 км) и, во-вторых, в строительстве современных высокоскоростных авто- и железнодорожных магистралей, обеспечивающих пассажиропотоки между городом и аэропортом. Вопрос только в источниках инвестиций.

В числе крупнейших аэропортов мира, для которых эта проблема стоит особенно остро, — Нью-Йорк (им. Джона Кеннеди), Вашингтон (им. Р. Рейгана), Лос-Анджелес, Кливленд⁶, Ванкувер, Мехико, Лондон (Хитроу и Лондон-Сити), Париж, Амстердам, Франкфурт, Милан, Берлин, Стамбул и др. И дело не только в том, что эти аэропорты расположены в пределах городов. Имеется и ряд других обстоятельств, вынуждающих правительства как-то решать вопрос о переносе аэропортов в другое место. Например, вашингтонский аэропорт им. Р. Рейгана расположен в непосредственной близости от государственных стратегически важных объектов — Белого дома, Пентагона, штаб-квартиры ЦРУ, что создаёт угрозу их безопасности. Крупнейший европейский аэропорт Хитроу не только находится на территории Большого Лондона, но и часто закрывается из-за густых туманов, вызывающих массовую задержку и отмену рейсов⁷.

Проблема с аэропортами, находящимися в черте мегаполисов, осложняется ещё и тем, что эксперты ожидают существенного увеличения в будущем пассажирских и грузовых перевозок авиационным транспортом. Так, ОЭСР в своём прогнозе развития аэропортовой инфраструктуры закладывает двукратный рост мобильности населения (пассажиропотоков) внутри ЕС и Северной Америки, а также между этими регионами к 2030 г. по сравнению с 2009 г., в Азии и Латинской Америке ожидается повышение этого показателя в 4 раза, между Азией и Северной Америкой — в 3 раза [16, р. 42]. Объём мирового грузопотока, обеспечиваемого авиационным транспортом, по оценкам экспертов, будет увеличиваться в течение ближайших 20 лет с темпом прироста в 4.1% в год [18, р. 2]; в итоге в 2030-е годы он возрастёт по сравнению с существующим сейчас в 2.5 раза.

Обеспечение инфраструктурой увеличивающихся такими темпами мировых потоков пассажиров и грузов потребует пропорционального роста инвестиционных ресурсов на развитие аэропортов. Их ежегодный объём оценивается в

размере 120 млрд долл. в постоянных ценах 2008 г. на период до 2030 г. (см. табл. 6).

Уже сейчас многие правительства национального или регионального уровней, в собственности которых находятся аэропорты, выражают серьёзную озабоченность состоянием соответствующей инфраструктуры и осознают необходимость крупных инвестиций в сооружение новых аэропортов. Например, в июле 2013 г. мэр Лондона внёс предложение в правительство страны о закрытии аэропорта Хитроу и строительстве нового аэропорта на о. Гренин. На месте существующего аэропорта можно будет, как считает городская администрация, построить новый микрорайон Лондона на 250 тыс. жителей. Объём инвестиций в строительство нового аэропорта оценивается в 65 млрд ф. ст., а срок ввода в эксплуатацию — 2030 г. Нуждаются в переносе за городскую черту второй после Хитроу в Европе по количеству обслуживаемых пассажиров парижский аэропорт им. Шарля де Голля, третий на континенте по пассажиропотоку и второй по грузообороту аэропорт во Франкфурте-на-Майне и другие крупнейшие аэропорты, особенно в столичных мегаполисах.

Глобальные потребности в инвестициях в транспортную инфраструктуру будут увеличиваться как в абсолютном выражении, так и, возможно, по доле в ВВП. Рост будет обеспечиваться в основном за счёт стран с формирующимися рынками, но и в развитых странах необходимо активизировать инвестиционные процессы, связанные с модернизацией и новым строительством объектов транспортной инфраструктуры, а также улучшением её качества. Эффективная транспортно-инвестиционная политика может до некоторой степени способствовать снижению развитыми странами удельных инвестиционных затрат в транспортный комплекс, но для сохранения своего производственного потенциала и глобальной конкурентоспособности они должны будут наращивать вложения, в первую очередь в строительство новых аэропортов и модернизацию железных дорог.

* * *

В воспроизводственном процессе транспортная инфраструктура является производной от промышленности и видов транспорта. Развивать инфраструктуру без производства не имеет никакого экономического смысла. В триаде производство — транспорт — инфраструктура доминантой и первичным звеном выступает производство, продукцию которого необходимо перевозить. При эволюционном (и в этом смысле нормальном) макроэкономическом развитии масштабы, насыщенность и плотность транспортной инфраструктуры, её состояние и качество в любой стране, а также на той или иной её территории опре-

⁶ В США практически все 50 крупнейших международных аэропортов расположены в 5–20 км от городов.

⁷ По этой причине в Хитроу в конце декабря 2013 г. было отменено около 200 рейсов, 1 апреля 2014 г. — 280 рейсов.

деляются именно этими двумя факторами – производством и количеством транспортных средств. В своей главной тенденции транспортная инфраструктура не должна идти впереди производства. Востребованность пользователями, наличие грузовой базы, достаточной для обеспечения загрузки транспортной инфраструктуры, – обязательные условия её нового строительства и расширения.

Правда, иногда это правило нарушается. Как свидетельствует мировая практика, исключение из него составляют лишь особые, достаточно кратковременные периоды, когда государство, стремясь активизировать спрос, оживить экономику или её отдельные сегменты, принимает меры по дополнительному государственному финансированию транспортной инфраструктуры. Это происходит, например, для обеспечения более быстрого выхода из экономического кризиса или оживления материального производства. Опережающий рост государственных затрат на транспортную инфраструктуру может также происходить при её существенном устаревании или значительном отставании от мирового уровня. С другой стороны, последнее всегда свидетельствует о недостатках государственного управления развитием инфраструктурного комплекса в предшествующие периоды, просчётах, когда инфраструктура долгое время недоинвестировалась.

Особенность современной глобальной экономики такова, что производство перестало быть фактором, ограничивающим развитие, – любой товар может быть выпущен в любых объёмах и доставлен покупателю, где бы он ни находился. Главное – спрос на него. С этой точки зрения острого недостатка в мощностях транспортно-логистической инфраструктуры сейчас не наблюдается ни в развитых, ни в развивающихся странах. А если их дефицит возникает, как, например, в Китае, Индии, Вьетнаме или других развивающихся странах в условиях ускоренного экономического роста, то, учитывая наличие множественных и конкурирующих между собой современных технологических решений, на основе международной кооперации с передовыми транснациональными компаниями, специализирующимися в этой сфере, создание и расширение объектов транспортной инфраструктуры не вызывает трудностей.

Несмотря на моральное устаревание транспортной инфраструктуры в развитых странах, никаких особых проблем с её функционированием также нет – наблюдается расширенное воспроизводство в отрасли, правительства выделяют инвестиции. Относительно низкая доля расходов на транспортную инфраструктуру в ВВП этой группы стран свидетельствует не о недофинансирова-

нии, а об эффективности государственных затрат и государственного регулирования этой сферы деятельности.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья опубликована в рамках проекта “Посткризисное мироустройство: вызовы и технологии, конкуренция и сотрудничество” по гранту Министерства науки и высшего образования РФ на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития (Соглашение № 075-15-2020-783).

ЛИТЕРАТУРА

1. Россия и мир: 2020. Экономика и внешняя политика. Ежегодный прогноз / Рук. проекта А.А. Дынкин, В.Г. Барановский. М.: ИМЭМО РАН, 2019. <https://www.imemo.ru/files/File/ru/publ/2019/2019-018.pdf> (дата обращения 25.09.2020).
2. World Trade Statistical Review 2020. Geneva: WTO, 2020. https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2020_e/wts2020_e.pdf (accessed 25.09.2020).
3. Global Value Chains and Development: Investment and Value Added Trade in Global Economy. A Preliminary Analysis. UNCTAD, 2013. http://unctad.org/en/publicationslibrary/diae2013d1_en.pdf (accessed 04.02.2019).
4. Total trade in goods and services. Exports and imports of goods and services, annual, 1980–2013. UNCTAD. <http://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableViewer.aspx?ReportId=25116> (accessed 04.02.2019).
5. World Bank national accounts data. GDP (current US\$). World Bank. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> (accessed 04.02.2019).
6. Heins M.W. The Shipping Container and the Globalization of American Infrastructure. University of Michigan, 2013. https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/102480/mheins_1.pdf
7. The Review of Maritime Transport 2018. UNCTAD, 2018. https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf (accessed 04.02.2019).
8. 2015 Status of the Nation’s Highways, Bridges, and Transit: Conditions and Performance – Report to Congress. U.S. DoT – FHWA – FTA, 2016. <https://www.fhwa.dot.gov/policy/2010cpr/pdfs/cp2010.pdf> (accessed 04.02.2019).
9. ITF Transport Outlook 2013: Funding Transport. Paris: OECD/ITF, 2013. https://www.oecd-ibrary.org/transport/itf-transport-outlook-2013_9789282103937-en (accessed 04.02.2019).
10. Spending on Transport Infrastructure 1995–2011: Trends, Policies, Data. OECD, May 2013. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/13spendingtrends.pdf> (accessed 04.02.2019).

11. 2010 Status of the Nation's Highways, Bridges, and Transit: Conditions and Performance – Report to Congress. U.S.DoT – FHWA – FTA, 2012. <https://www.fhwa.dot.gov/policy/2010cpr/pdfs/cp2010.pdf> (accessed 04.02.2019).
12. ITF Transport Outlook 2017. Paris: OECD Publishing, 2017. <https://doi.org/10.1787/9789282108000-en> https://www.oecd-ilibrary.org/transport/itf-transport-outlook-2017_9789282108000-en (accessed 04.02.2019).
13. Total inland transport infrastructure investment per GDP. OECD. <https://stats.oecd.org/Index.aspx?QueryId=73638> (accessed 04.02.2019).
14. Analysis of the National Infrastructure and Construction Pipeline. Infrastructure and Projects Authority. UK, 2018. <https://www.gov.uk/government/publications/national-infrastructure-and-construction-pipeline-2018> (accessed 04.02.2019).
15. Legislative Outline for Rebuilding Infrastructure in America. The White House, 2018. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2018/02/INFRA-STRUCTURE-211.pdf> (accessed 04.02.2019).
16. Strategic Transport Infrastructure Needs to 2030. OECD, 2012. <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/9789264114425-en> (accessed 04.02.2019).
17. Capacity to Grow: Transport Infrastructure Needs for Future Trade Growth. OECD/ITF, 2016. <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/future-growth-transport-infrastructure.pdf> (accessed 04.02.2019).
18. Worldwide Market Forecast 2018-2037. Japan Aircraft Development Corporation, 2018. http://www.jadc.jp/files/topics/140_ext_01_en_0.pdf (accessed 04.02.2019).

РОЛЬ ЧАСТНЫХ ВОЕННЫХ КОМПАНИЙ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ “ОБЛАЧНОГО ПРОТИВНИКА”

© 2021 г. А. Я. Зайцев^{а,*}, А. В. Манойло^{а,**}

^а Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*E-mail: zayts214@rambler.ru

**E-mail: cyberhurricane@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.04.2020 г.

После доработки 31.08.2020 г.

Принята к публикации 05.10.2020 г.

По окончании холодной войны, когда в мировой политике появились новые участники, стала меняться не только международная политическая система, но и классические методы ведения военных действий. В этих условиях широкое распространение получили новые средства, технологии и методы воздействия на противника.

В работе проанализирована деятельность частных военных компаний через призму новой для современных вооружённых конфликтов технологии “облачного противника”, приводятся характерные примеры столкновений, подпадающих под это определение. Дана оценка нынешней ситуации, связанной с участием в вооружённом противоборстве частных военных компаний, которые используются в качестве политического инструмента для достижения поставленных целей и задач.

Ключевые слова: частные военные компании, “облачный противник”, ЧВК, вооружённые конфликты, национальные государства, акторы международных отношений, мировая политика, военные столкновения, транснациональные корпорации, политический конфликт, агрессия, негосударственные акторы.

DOI: 10.31857/S0869587321020122

Кардинальные изменения, произошедшие в мировой политической системе в конце XX – начале XXI вв., создали благоприятные условия для международной деятельности негосударственных

акторов. И если во время холодной войны вооружённые конфликты возникали нечасто, что в первую очередь было связано с постоянным контролем со стороны двух сверхдержав, то после распада биполярного мира их количество значительно возросло: в это число вошли различные региональные территориальные споры, вооружённые столкновения, связанные с захватом тех или иных ресурсов, переделом сфер влияния, национальные, этнические и религиозные конфликты, международный терроризм.

Такие изменения на международной арене заставили государства по-новому взглянуть на внешнюю политику и заняться поиском современных средств достижения собственных интересов.

Частные военные компании как инструмент реализации внешней политики. В XXI в. в любом вооружённом конфликте на региональном и международном уровне ключевую роль стали играть не классические национальные государства, а активно вытесняющие их акторы нового типа – частные военные компании (ЧВК), то есть заре-



ЗАЙЦЕВ Александр Ярославович – специалист по учебно-методической работе кафедры российской политики МГУ имени М.В. Ломоносова. МАНОЙЛО Андрей Викторович – доктор политических наук, профессор кафедры российской политики МГУ имени М.В. Ломоносова.

гистрированные коммерческие структуры, деятельность которых направлена на предоставление специализированных услуг, прямо или опосредованно связанных с военной сферой. За последние годы их влияние на политические процессы и, как следствие, использование в современных локальных и международных конфликтах существенно выросло.

Возникшие в 1960-х годах как консалтинговые фирмы, к концу 1980-х частные военные компании стали оказывать услуги военного характера, непосредственно участвуя в столкновениях. А начиная с 1991 г. они задействованы практически во всех вооружённых конфликтах, порой помогая обеим сторонам противоборства.

ЧВК, где бы они ни находились, строятся по принципу иерархичной бизнес-структуры, которая имеет сложные финансовые связи с другими компаниями, корпорациями, государствами и даже с международными организациями. “Добывающая отрасль и гуманитарные организации нанимают контрактников для защиты своих людей и объектов в самых опасных точках мира. Сотрудники ЧВК сторожат киберпространство в качестве кибернаёмников, которые атакуют тех, кто совершает хакерские налёты на их клиентов, и работают против себе подобных” [1].

Частные военные компании – инструмент реализации “непрямой” политики в любой точке земного шара. В последние годы они постепенно и всё более заметно начинают вытеснять из вооружённых конфликтов регулярные армии [2]. В число предоставляемых ими услуг входят разведка, логистика, охрана объектов, разминирование, тыловое обеспечение, обучение и тренировка войск, руководство операциями, разработка военно-стратегических планов, осуществление деятельности на море и т.д. Это лишь малая толика тех задач, которые могут решать ЧВК. При этом руководство каждой такой структуры стремится, чтобы деятельность возглавляемой компании отвечала вызовам и угрозам современности, для чего они осваивают новейшую технику, осуществляют деятельность с привлечением передовых технологий.

Сотрудники ЧВК – это военные специалисты, а новобранцы, рекрутируемые по всему миру, с профессиональной точки зрения должны соответствовать уровню нанимающей организации. Такой подход обеспечивает качество выполняемых задач, эффективность и популярность ЧВК на военном рынке, а это, в свою очередь, влечёт за собой заключение контрактов и большую прибыль.

“Частные военные компании связаны обязательствами со своим работодателем <...>, но остаются в первую очередь коммерческими предприятиями, главной целью которых является максими-

зация коммерческой прибыли при минимизации издержек” [3, с. 49]. Работающие в связке с государством, они реализуют так называемую концепцию “облачного противника”, наиболее точно отвечающую требованиям современных гибридных войн. Действительно, в XXI в., когда радикально изменились традиционные условия и правила ведения войны, стали появляться новые технологии, которые широко применяются в современных вооружённых конфликтах.

“Облачный противник” – феномен XXI в. “Облачным” называют противника, представляющего собой аморфное образование, сформированное под конкретную боевую задачу или тактическую ситуацию из регулярных воинских частей того или иного государства и иррегулярных (зачастую незаконных) вооружённых формирований разной принадлежности, к которым относят ЧВК, парамилитарные формирования, повстанческие группировки, наркокартели, террористические организации, в том числе международные, хорошо вооружённые и построенные по армейскому принципу сил быстрого реагирования, крупные транснациональные компании.

До участия в конфликте эти силы существуют в собственных контурах – в “облаке”, порой даже не зная друг о друге. В нужный момент их собирают вместе в рамках одного общего военного проекта, выстраивают между ними иерархические связи, командование, после чего они начинают функционировать как единое целое. По завершении проекта все компоненты вооружённой мощи участника конфликта распадаются и снова возвращаются в “облако” – до следующей точки сборки под очередную задачу.

“Облачный противник”, как правило, не имеет чётких границ (не замыкается в рамках одного конкретного государства), а реальная численность его бойцов варьируется, при этом он может мобилизовывать новые формирования или распускать старые. “Основные структурные элементы системы обеспечения такого противника находятся в странах ближнего или дальнего зарубежья, формально не являющихся участниками конфликта” [4].

По мнению авторов концепции “облачного противника” И.М. Попова и М.М. Хамзатова, появление такой технологии связано с созданием в середине XX в. ядерного оружия, которое привело к кризису в военном деле: надо было найти способ давления на противника и при этом выйти за рамки ограничений, связанных с принципом ядерного сдерживания [5].

После холодной войны в постбиполярном мире стали возникать другие правила ведения военных действий и появляться новые международные игроки. Большое влияние приобрели транснациональные корпорации (ТНК) и неправительствен-

ные организации. Сегодня они не просто ставят собственные цели и задачи, которые нередко не только сталкиваются с интересами национальных государств, но и оказывают непосредственное влияние на международные отношения и принимают участие, хотя и косвенное, в различных конфликтах.

В ситуации, когда соперником государства становится неоформленная и полностью не идентифицированная политическая сила, а сами столкновения ведутся нетрадиционными методами, равенство военных сил, как и в классическом противоборстве, не имеет принципиального значения.

Цель, к которой стремится “облачный противник”, – достичь «внутреннего коллапса государства-“жертвы”» [6, с. 657], падения правящего режима или создать ситуацию, квалифицируемую как гуманитарная катастрофа.

Перечислим характерные черты “облачных” формирований:

- финансирование агрессии происходит со стороны государств-нанимателей и их союзников;
- пункты стратегического управления располагаются на территории конкретных государств;
- стратегическим тылом агрессора выступает ближнее и дальнее зарубежье;
- людские ресурсы не ограничены, так как рекрутирование ведётся по всему миру;
- поставка вооружения осуществляется на международном рынке;
- места подготовки численного состава могут располагаться как на территории государства-“жертвы”, так и в приграничных районах [5].

Все эти особенности обеспечивают как минимум дестабилизацию существующего в государстве политического режима, а также затяжную форму протекания вооружённого конфликта.

“Облачная” деятельность ЧВК. Перечисленные признаки активно используемой в современном мире технологии “облачного противника” характерны и для деятельности частных военных компаний.

Во-первых, можно уверенно сказать, что ЧВК практически всегда финансируются нанимающей стороной. Если таковой становится держава, то материальную поддержку эти компании получают непосредственно от государственных структурных подразделений. Например, «в 1997 году Пентагон передал контракты по тыловой поддержке войск США и НАТО на Балканах в ведение ЧВК DynCorp по истечению контракта с частной военной компанией KBR. Но через четыре года KBR отбила “балканскую зону”, получив десятилетний контракт общей стоимостью 2.2 трлн долларов» [7, с. 148]. В войне в Ираке и

Афганистане действовало множество частных военных компаний, “контракты которых с 2002 по 2011 г. составили 177 млрд долларов США” [8, с. 292]. По данным Министерства обороны Соединённых Штатов, по состоянию на 30 сентября 2009 г. в Ираке насчитывалось “64.2 тыс. военных подрядчиков, а в Афганистане в то же время 90.3 тыс.” [9].

Во-вторых, стратегическое управление любой частной военной компании осуществляется в той стране, где базируется ЧВК. Контракт – лишь небольшое звено в деятельности фирмы, на его реализацию выделяются только необходимый для осуществления поставленной цели контингент, материальная поддержка и тыловое обеспечение. Последнее происходит также путём поставок из-за рубежа, что представляется логичным: сотрудники ЧВК забрасываются в зону конфликта вместе с оснащением, вооружением и т.д. На месте происходит тактическое управление в соответствии с утверждённым планом и периодическими консультациями с руководством компании, которое зависит от постоянно меняющейся обстановки и непредвиденных обстоятельств. Поставленная для выполнения цель нередко прописывается в самом контракте, заключаемом между ЧВК и нанимающей стороной.

Так, в 2002 г. ЦРУ заключило контракт со знаменитой частной военной компанией Blackwater. Её сотрудникам предстояло заняться охраной агентов спецслужб, которые находились в то время в Афганистане, а в 2003 г. этой же компании поручили охранять руководителя только что созданной Временной коалиционной администрации Пола Бремера [10]. “Охранная команда от Blackwater включала 36 личных охранников, две команды собак для поиска мин, три бронированных машины Mamba, броневик Saracen, три вертолёт Boeing MD-530 Little Bird, двухмоторный транспортник CASA212” [7, с. 199].

В-третьих, численный контингент, как и поставки вооружения, практически ничем не ограничен. ЧВК, деятельность которой распространилась на многие страны, набирает новобранцев по всему миру путём заключения контракта с физическим лицом. Качественный состав контингента, направляемого в зону конфликта, зависит от финансовых вложений или тактической необходимости выполнения поставленной задачи.

В Сирийской Арабской Республике в интересах США под прикрытием авиации международной коалиции действуют сотрудники частных военных компаний, которые контролируют ряд нефтяных месторождений, а также организуют добычу и вывоз нефти из страны. При этом ЧВК наращивают численность контингента в стране, уже достигшую 3.5 тыс. человек [11].

В Афганистане большие объёмы финансирования от “выплат по контрактам частным военным компаниям уходили полевым командирам движения Талибан, которые отвечали за безопасность перевозок по линиям коммуникаций грузов. По официальным данным, талибы через посредников получили из бюджета США около 360 млн долл.” [12, с. 17]. Этот факт подтверждает другую тактическую возможность, когда выполнение поставленных задач происходит без увеличения численности контингента ЧВК путём привлечения третьей стороны в качестве субподрядчика.

Что касается вооружения, то в большинстве случаев частная военная компания самостоятельно обеспечивает своих сотрудников. Конечно, здесь всё зависит от её возможностей. Начинающие подрядчики не обладают большим арсеналом, но и гнаться за непосильным контрактом не будут. Крупные элитные частные военные корпорации, как правило, имеют в своём распоряжении не только стрелковое оружие, но и боевые машины пехоты, артиллерию, а в некоторых случаях даже танки и авиацию. Например, “военный потенциал Blackwater был сопоставим с военным потенциалом некоторых азиатских и африканских государств и превосходил их по мобильности, скорости развёртывания, качеству боевой подготовки и ресурсной базе, включающей механизмы восполнения боевых и небоевых потерь” [13, с. 306].

В-четвёртых, к немаловажным факторам относится тренировка бойцов. Уже упоминалось, что у “облачного противника” тренировочные лагеря располагаются на территории государства-“жертвы” и в приграничных зонах соседней страны. Последний вариант в целом универсален, поскольку позволяет не просто тренировать контингент поблизости, но и обезопасить себя от внешней угрозы: на территории другого государства опасаться практически нечего. По мнению сирийских военных, некоторые боевики тренировались в Иордании, а затем переходили границу для ведения боевых действий на территории САР [14].

Бывают ситуации, когда тренировочные лагеря располагаются на территории страны, где происходит вооружённый конфликт. В частности, американские ЧВК активно участвуют в боевых действиях, занимаются инструктажем и планированием операций в сирийском конфликте [15] в интересах Соединённых Штатов. А частная военная компания Kilo Alpha Service в первой половине 1990-х годов в ЮАР занималась тренировкой войск Африканского Национального Конгресса и параллельно с этим — подготовкой отрядов командос оппозиционного движения Inkatha [16].

Обычно частные военные компании присылают своих специалистов в зону конфликта для тренировки местных кадров того или иного государства, разработки военных планов или руководства военными операциями, но в условиях, когда новобранцы не справляются, сотрудники ЧВК могут сами вступить в столкновение с противником, оказав профессиональную помощь воюющей стороне.

ЧВК в XXI в. “начинают постепенно занимать ту нишу, которую прежде занимали некоторые государственные институты (министерства обороны и др.), размывая монополию на применение вооружённого насилия с последующей приватизацией этого права” [3, с. 52].

В целом рынок частных военных компаний с каждым годом увеличивается, их деятельность остаётся востребованной в сфере безопасности и становится всё более популярной: по данным на 2012 г., “общая стоимость контрактов оценивается в сумму от 20 до 100 млрд долл. США в год” [17, с. 237]. В 2018 г. было отмечено, что численность сотрудников ЧВК по всему миру составляет около 1 млн человек [18]. Однако уже сейчас можно с уверенностью сказать, что общая численность специалистов, равно как и финансирование, давно вышла за эти рамки.

Изложенные аргументы позволяют утверждать, что частные военные компании обладают всеми необходимыми характеристиками и могут быть использованы как основа технологии “облачного противника”. В качестве военной структуры они способны выполнять практически любое задание [19]. Это создаёт новую угрозу в отношении суверенитета государств и довольно опасную тенденцию, которая может привести к утрате странами монополии на применение вооружённого насилия и вторжению в эту сферу не только частных военных компаний, но и других негосударственных участников международных отношений.

За последнее десятилетие частный военный бизнес стал не просто привлекателен, он на практике доказал свою эффективность. Теперь его возможности могут существенно расширить именно “облачные технологии”.

Применение технологии “облачного противника”. На сегодняшний день концепция “облачного противника” — одна из наиболее успешных форм ведения вооружённого противоборства, как и использование в военных конфликтах частных военных компаний.

Классическим примером реализации технологии “облачного противника” может служить конфликтная ситуация в Венесуэле. Для решения собственных задач власти страны используют регулярные силы — армию, боливарианскую службу разведки, кубинские войска, расквартированные

в Каракасе и его окрестностях, нерегулярные силы – парамилитарные вооружённые формирования “Колективос”, боевиков “Cartel de los Soles”, а также некоторые возможности и ресурсы “FARC-EP” – леворадикальной “повстанческой” экстремистской группировки “Революционные вооружённые силы Колумбии” [20].

Помимо части венесуэльской оппозиции, признающей своим лидером председателя Национальной ассамблеи Венесуэлы Х. Гуайдо, Соединённые Штаты, выступающие также против режима законно избранного президента Н. Мадуро, используют в своих целях коллаборационистов-перебежчиков из армии и Национальной гвардии Венесуэлы, бразильский и колумбийский спецназ, “зелёные береты” и многонациональные военно-морские силы своей страны и союзников, а также боевиков из некоторых мексиканских наркокартелей, тесно связанных с американской разведкой.

Другим примером “облачного противника” могут служить международные террористические организации, структурированные по сетевому принципу. Сегодня терроризм, реагируя на новые формы и методы борьбы с ним, быстро эволюционирует, стремясь адаптироваться к современным условиям. Он повсеместно носит интернационализованный, трансграничный характер и представлен международными террористическими организациями, такими как “Исламское государство” и “Аль-Каида”, запрещёнными в РФ, имеющими сетевую структуру и филиалы в различных странах и регионах мира, ведущими террористическую войну с национальными правительствами отдельных государств и международным сообществом в целом [13].

В то же время некоторые международные террористические организации начинают претендовать на создание на подконтрольных им территориях квазигосударственных образований – разнообразных террористических “халифатов”, “вилайетов” с военно-гражданской администрацией и налоговой системой, позволяющей террористам закрепить свою власть на захваченных пространствах. Именно такое квазигосударственное образование под названием “Исламское государство” возникло в 2012–2013 гг. на территории Сирийской Арабской Республики и Ирака. Для его уничтожения потребовались многолетние колоссальные усилия не только правительств этих двух стран, но и всего международного сообщества. И хотя в Сирии и Ираке ИГИЛ потерпело военное поражение, а “халифат”, возникший в этих странах, уничтожен, сама тенденция трансформации международных террористических группировок в движения по созданию собственных квазигосударств вызывает тревогу.

Ключ к пониманию этих трансформаций, происходящих с террористическими организациями в процессе борьбы с ними, также даёт концепция “облачного противника”. Она объясняет, как существуют и взаимодействуют квазиавтономные террористические ячейки в различных регионах, объединяющиеся в типично “проектные сообщества” для решения общих задач.

В свою очередь силы, противостоящие международной террористической угрозе в Сирии, также носят весьма неоднородный характер и в определённом смысле подпадают под категорию “облачного противника”.

В сирийском конфликте наряду с классическими актёрами международных отношений участвуют и неклассические, к которым относят племенные ополчения и террористические организации. Гибридная природа данного непрекращающегося конфликта связана не только с указанным фактом, но и с тем, что именно неклассические актёры используются национальными государствами для продвижения своих интересов и оказания вооружённого давления на соперников или силы, аффилированные с ними.

У монархий Персидского залива, Турции, Ирана, США есть подконтрольные и находящиеся на их содержании группировки, которыми они манипулируют в сложной политической игре, идущей на территории САР, Ливии и Ирака. Они вступают в прямое столкновение между собой, а их патроны предпочитают оставаться над схваткой, наблюдая за происходящим со стороны и занимаясь конвертированием военных успехов своих парамилитарных вооружённых формирований в политические дивиденды.

Что касается сирийских вооружённых сил, то они действуют в тесном содружестве с иранскими (подразделения КСИР, Аль-Кудс, батальоны моджахедов из Афганистана, дивизии “Фатимийон” и “Зейнабийон”, иранские ЧВК и др.) и ливанскими контингентами (“Хезболла”), с частными военными компаниями, такими как “Силы тигра” и “Организация Бадр”, подразделениями баасистского ополчения, шиитской милицией, сформированной из бывших мирных граждан в поддержку армии.

США также используют в своих целях многочисленные группировки так называемой “умеренной оппозиции” и отдельные курдские формирования (Сирийские демократические силы), боевые отряды ассирийцев-христиан. Турция привлекает подконтрольные ей группировки Сирийской национальной армии и туркоманские батальоны. Эта мозаика взаимопересекающихся интересов и неклассических актёров, вовлечённых в их реализацию, и определяет “облачную” природу современного сирийского конфликта.

* * *

ЛИТЕРАТУРА

Технологии “облачного противника” обладают рядом преимуществ в условиях, когда локальные вооружённые конфликты и даже малые войны всё больше приобретают особый, гибридный характер. Они позволяют формировать вооружённые контингенты, исходя из имеющихся в распоряжении конкретного государства мобилизационных возможностей, и встраивать в их структуру неклассические компоненты — легитимные (частные военные компании, охранные предприятия ТНК, национально-освободительные движения) и нелегитимные (наёмники, наркокартели, национальные и международные террористические организации, непризнанные или частично признанные повстанческие группировки, мафия) вооружённые формирования, создаваемые под конкретный военный проект или задачу и распускаемые после его завершения, что снижает расходы на их содержание, ограничиваясь только временными рамками активной фазы военной операции или конфликта [21].

Неклассические легитимные и нелегитимные формирования, набираемые из “облака”, часто оказываются наиболее приспособленными к решению тех или иных боевых задач в регионах, где расположены их базы, основная операционная деятельность и тыловое обеспечение.

Бороться с “облачным противником” крайне сложно. Он легко компенсирует боевые потери привлечением новых “облачных” контингентов различного качества и функциональной специализации. Надёжным прикрытием “облачного противника” становится тыл со всеми его компонентами, легко перенастраиваемый под конкретные условия. Например, вместе с боевыми отрядами наркокартелей в распоряжение нанимателя переходит и их тыловое обеспечение, линии снабжения, связи, коммуникации и разведка; повстанческие группировки приходят к нанимателю со своей сетью партизанских баз и осведомителей из числа местного населения и т.д. Различные компоненты и формирования “облачного противника” применяются в вооружённых конфликтах там, где они способны продемонстрировать наибольшую эффективность исходя из реальной специализации: боевики и террористы в “облачных” конфликтах продолжают заниматься тем, чем привыкли, но в интересах конкретного проекта и под единым командованием.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова “Сохранение мирового культурно-исторического наследия” и гранта РФФ №21-18-00068.

1. *McFate S.* Return of the mercenaries // AEON. January 25, 2016. <https://aeon.co/essays/what-does-the-return-of-mercenary-armies-mean-for-the-world> (дата обращения 18.12.2018).
2. *Сибилева О.П.* Деятельность ЧВК в современных вооружённых конфликтах как вызов международному гуманитарному праву // Военная мысль. 2016. № 7. С. 48–61.
3. *Манойло А.В., Зайцев А.Я.* Международно-правовой статус частных военных компаний // Вестник РАН. 2020. № 1. С. 47–55; *Manoilo A. V., Zaytsev A. Ya.* International Legal Status of Private Military Companies // Herald of the Russian Academy of Science. 2020. № 1. P. 49–55.
4. *Мухин В.* Как противостоять угрозам: удары дронов по Саудовской Аравии ведут к появлению новой концепции мировых войн // Независимая газета. 17 сентября 2019 г. http://www.ng.ru/kart-blansh/2019-09-17/3_7678_kart.html (дата обращения 10.03.2020).
5. *Хамзатов М.М.* “Облачный противник”: новая угроза международной безопасности // Материалы научно-практической конференции Дни науки 2014 МГИМО (У) МИД России “Современные аспекты международной безопасности”. Москва, 9 апреля 2014 г. <https://www.youtube.com/watch?v=av5Y8levI24> (дата обращения 13.03.2020).
6. *Попов И.М., Хамзатов М.М.* Война будущего. Концептуальные основы и практические выводы. М.: Кучково поле, 2016.
7. *Коновалов И.П.* Солдаты удачи и воины корпораций: история современного наёмничества. Пушкино: Центр стратегической конъюнктуры, 2015.
8. *Небольсина М.А.* Частные военные и охранные компании в Ираке и Афганистане: аспекты деятельности и механизмы контроля // Ежегодник ИМИ МГИМО (У) МИД РФ. 2012. № 1. С. 288–306.
9. *Swed Ori.* From mercenaries to contractors // Department of Sociology. 2012. <https://sites.la.utexas.edu/utaustinsoc/2012/10/03/from-mercenary-to-contractors/> (дата обращения 17.03.2020).
10. Xe Services окончательно отдалась от скандальной Blackwater // Коммерсантъ. 12 декабря 2011 г. <https://www.kommersant.ru/doc/1836912>
11. Генштаб ВС РФ обвинил американские ЧВК в разграблении нефтяных объектов Сирии // ТАСС. 29 июля 2019 г. <https://tass.ru/armiya-i-opk/6711836> (дата обращения 19.03.2020).
12. *Баширов Н.* Опыт использования частных военных компаний в ходе военных конфликтов в Ираке и Афганистане // Зарубежное военное обозрение. 2013. № 11. С. 11–21.
13. *Булавин А.В., Карпович О.Г., Манойло А.В., Мантусов В.Б.* Мировая политика. Передовые рубежи и красные линии. М.: РИО Российской таможенной академии, 2018.

14. США тренируют сирийских боевиков на территории Турции и Иордании // RT. 2013. <https://russian.rt.com/article/11133>
15. Асад назвал число американских наёмников в Сирии // Известия. 16 декабря 2019 г. <https://iz.ru/954973/2019-12-16/asad-nazval-chislo-amerikanskikh-naemnikov-v-sirii> (дата обращения 21.03.2020).
16. Коновалов И.П., Валецкий О.В. Эволюция частных военных компаний. Пушкино: Центр стратегической конъюнктуры, 2013.
17. Волеводз А.Г. Международно-правовое регулирование деятельности частных военных и охранных предприятий (ЧВОП): современный этап международного правотворчества // Библиотека криминалиста. Научный журнал. 2012. № 1. С. 237–251.
18. Кокошин А.А. Феномен “гибридной войны” в силовой составляющей современной мировой политики // Вестник РАН. 2018. № 11. С. 971–978; Kokoshin A.A. The “Hybrid War” Phenomenon in the Coercive Component of Current World Politics // Herald of the Russian Academy of Science. 2018. № 5. P. 313–319.
19. Камерон Л. Частные военные компании: их статус в международном гуманитарном праве и воздействие МГП на регулирование их деятельности // Международный журнал Красного Креста. 2006. № 863. С. 63–95.
20. Манойло А.В., Стригунов К.С. Технологии неклассической войны. Генезис. Эволюция. Практика. М.: Горячая линия – Телеком, 2019.
21. Зайцев А.Я. Частные военные компании как негосударственные акторы мировой политики // Архитектура международных отношений в XXI веке и глобальные тренды современности: теория и реальность. Материалы IX Международной научно-практической конференции. 14 ноября 2019 г. Тверь: Тверской государственный университет, 2020.

**ЛИДЕР В КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ –
НЕ ПО ПОЛОЖЕНИЮ, А ПО ПРИЗВАНИЮ**
К 110-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА М.В. КЕЛДЫША

© 2021 г. М. Я. Маров

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия

E-mail: marovmail@yandex.ru

Поступила в редакцию 17.11.2020 г.

После доработки 23.11.2020 г.

Принята к публикации 03.12.2020 г.

Выдающийся учёный в области математики, механики, космической науки и техники, президент Академии наук СССР (1961–1975) академик М.В. Келдыш (1911–1978) стоял у истоков создания советской космической программы, и его вклад в изучение и освоение космоса поистине неограничен. С именем Мстислава Всеволодовича связаны исторические достижения отечественной науки и техники в первые десятилетия космической эры. В статье показана ведущая роль М.В. Келдыша в организации и проведении научных и прикладных исследований в космической области, создании крупных научных и конструкторских коллективов, координации работ по осуществлению проектов, имеющих важное государственное значение.

Ключевые слова: лидер, космос, ракеты, ИСЗ, космические аппараты, космические исследования, Луна, планеты.

DOI: 10.31857/S0869587321020043

Имя М.В. Келдыша неразрывно связано с крупным этапом в развитии человеческой цивилизации – исследованием и освоением космического пространства. Его и создателя ракетно-космических систем С.П. Королёва, вошедших в историю науки и космонавтики как Главный теоретик и Главный конструктор, по праву называют космическими первопроходцами. Не будет преувеличением сказать, что творческий союз двух признанных лидеров, стоявших во главе прославленных коллективов учёных и инженеров, обеспечил выдающиеся достижения советской науки и техники на заре космической эры. На протяжении многих лет их тесно связывали и деловые, и дружеские отношения.

Кратко коснёмся исторического периода, предшествовавшего началу космических исследований в стране. В 1946 г. приказом министра вооружения СССР Д.Ф. Устинова было создано Особое конструкторское бюро (ОКБ-1) под руководством С.П. Королёва. Здесь с опорой на кон-

структорские бюро и институты промышленности шли работы по созданию межконтинентальных баллистических ракет. Сергей Павлович возглавил легендарный Совет главных конструкторов, объединявший ведущие предприятия страны, где рождались основные элементы ракет – двигатели, системы управления, связи, наземное оборудование. Совет внёс неограниченный вклад в развитие ракетно-космической техники. Королёв сумел сплотить и направить эту армию учёных и конструкторов к единой цели. Благодаря такой организации в небывало короткие сроки страна получила первые отечественные баллистические ракеты, несущие атомный заряд, а затем на их основе – ракеты-носители.

В том же 1946 г. М.В. Келдыша назначили директором НИИ-1 (бывший Реактивный научно-исследовательский институт), где в довоенный и военный период создавалось ракетное вооружение нашей армии, в том числе знаменитые миномёты “Катюша”.

В то время укрепление оборонной мощи страны связывалось с перевооружением армии на ракетную технику и созданием атомного оружия. Мстислав Всеволодович был привлечён к выпол-

МАРОВ Михаил Яковлевич – академик РАН, заведующий отделом планетных исследований и космохимии ГЕОХИ РАН.

нению важных заданий Правительства по разработке новых образцов оборонной техники и параллельно занимался атомной проблемой. И всё же, начиная с 1946 г., он в значительной степени сосредоточивается на ракетно-космической тематике.

Встав во главе института, Келдыш взялся за решение широкого круга актуальных технических задач, которые всегда считал высокой наукой. Сфера его научных интересов — теория горения, физическая газовая динамика применительно к ракетным двигателям. По инициативе Келдыша были начаты исследования по гиперзвуковой аэродинамике, теплообмену летательных аппаратов при полётах в разреженных слоях атмосферы и в космосе, разработка специальных теплозащитных покрытий для таких аппаратов, входящих в атмосферу с космической скоростью. В единую концепцию подготовки к космическим полётам вписывались и такие направления, как стабилизация и ориентация летательных аппаратов, разработка систем астронавигации.

Фундаментальной основой всех направлений была математика, которая позволяла находить определённую общность в конкретных прикладных задачах. Но у каждой из них оставалась своя специфика, что, естественно, требовало глубокого проникновения в суть проблемы, специальных подходов, методов и экспериментальной проверки результатов. Здесь ярко проявился не только талант Келдыша-математика, в совершенстве владевшего тонкими теоретическими методами, его глубочайшая интуиция инженера-механика, но также талант организатора, руководителя крупных научных коллективов.

В те годы началось плодотворное творческое сотрудничество М.В. Келдыша с выдающимся конструктором Семёном Алексеевичем Лавочкиным, под руководством которого во время Великой Отечественной войны в кратчайшие сроки были созданы, внедрены в массовое производство и эксплуатацию новейшие типы боевых самолётов. Вместе с сотрудниками Конструкторского бюро С.А. Лавочкина Мстислав Всеволодович выполнил комплекс исследований по теории полёта самолётов со сверхзвуковыми скоростями, теории сверхзвуковых двигателей, защиты самолётов от аэродинамического нагрева.

В 1954 г. Келдыша назначили научным руководителем крупного проекта “Буря” — сверхзвуковой крылатой ракеты, способной нести атомный заряд. Эти работы завершились созданием летного образца аппарата и успешным его испытанием, в ходе которого было показано, что по некоторым техническим характеристикам “Буря” превосходит межконтинентальную крылатую ракету “Навахо”, разрабатывавшуюся в США. Но к тому времени большой прогресс наметился и по



Мстислав Всеволодович Келдыш

проекту создания в ОКБ-1 под руководством С.П. Королёва баллистической ракеты Р-7, также способной нести атомный заряд. Кроме того, она открывала перспективы выхода в космос. Продолжать развивать оба направления было экономически нецелесообразно и работы по проекту “Буря” были закрыты. Чтобы согласиться с принятием такого решения, нужно обладать гражданским мужеством и умением отказываться от амбиций, что было в полной мере свойственно М.В. Келдышу.

В НИИ-1, как и в Центральном аэрогидродинамическом институте, где начиналась научная деятельность Главного теоретика космонавтики и решались важные задачи по развитию авиационной техники, Мстислава Всеволодовича окружал полумифический ореол. Сотрудник этого НИИ, ставший позднее научным обозревателем “Комсомольской правды”, Ярослав Голованов в одном из очерков писал: «В 1956 году совсем зелёным инженером работал я в одном НИИ, научным руководителем которого по совместительству был Келдыш. Среди молодёжи о нём ходили легенды. Всерьёз говорили о том, что не существует такой математической задачи, которую он не смог бы решить, если она верно сформулирована. Однажды Келдыш дал десять дней одной из лабораторий на проведение неких расчётов. В конце срока



На семинаре отдела молекулярной биофизики Института радиофизики и электроники Украины. 1964 г.

смущённый руководитель лаборатории признался, что работа не выполнена, поскольку очень трудно сформулировать задание для ЭВМ. Келдыш поморщился, взял коробку “Казбека”, перевернул тыльной светлой стороной, покрутил в руках карандаш и быстро написал на коробке формулу.

— Мне кажется, что теперь это сможет сосчитать даже кошка, — сказал он, протягивая коробку оторопевшему завлабу.

Я присутствовал на защите одной докторской диссертации. Келдыш председательствовал. Он сидел за столом, посасывая леденцы из плоской железной коробочки: отучался от табака. Выражение лица было отсутствующим, я был уверен, что докладчика-соискателя он не слушает. Отвечая на вопросы, докладчик вдруг споткнулся на одном из них, как говорится, “поплыл”: попробовал что-то путано объяснить и, наконец, замолчал. Келдыш встал и, подойдя к развешанным таблицам, сказал своим тихим, мягким голосом, чуть растягивая слова:

— Ну, это же так просто, вот взгляните, — и начал объяснять. Я подумал: соискатель изучал этот вопрос годы, Келдыш — минуты» [1, с. 479].

Мне не раз доводилось быть свидетелем аналогичных ситуаций, участвуя в семинаре, который Мстислав Всеволодович регулярно вёл в Институте прикладной математики АН СССР. Сидя всегда на одном и том же месте, подперев рукой голову, он, казалось, дремал, лишь изредка бро-

сая взгляд на доску, испещрённую математическими выкладками, но удивительно цепкими вопросами уточнял формулировку, постановку задачи, если докладчик что-то не договаривал, первым замечал неточность или ошибку в рассуждениях, требовал определённости выводов. Неизменно стимулировал дискуссии, которые зачастую бывали весьма острыми, чётко и ясно подводил итог обсуждения.

С глубоким проникновением математики в описание природы физико-химических процессов, проектирование конструкций и систем стремительно нарастал объём вычислений в конкретных расчётах. Поэтому поставленные развитием новой техники сложные задачи требовали параллельно с разработкой и совершенствованием вычислительных методов мощных вычислительных средств. Мстислав Всеволодович прекрасно осознавал, что они открывают качественно новый этап в развитии науки. Его личный вклад в становление отечественной электронно-вычислительной техники, её широкое внедрение для решения сложных научно-технических проблем атомной и ракетно-космической отрасли трудно переоценить.

Келдыш уделял большое внимание теоретическим и практическим задачам программирования, разработке алгоритмов для решения конкретных задач, их практической программной реализации. При этом сам был автором многих идей и не раз подчёркивал, что искусные методы,



Знаменитые “Три К” – С.П. Королёв, И.В. Курчатов, М.В. Келдыш. Крайний справа – первый заместитель С.П. Королёва В.П. Мишин

оригинальные подходы к составлению программ позволяют существенно компенсировать недостаточно высокую производительность ЭВМ.

Старшее поколение помнит, как он говорил: “У них, на Западе, лучше техника, а у нас – серое вещество”. Это не ослабляло, однако, требований к самим вычислительным средствам и разработчикам. В их формулировании мнение Келдыша было самым авторитетным, а во многих отношениях – определяющим.

В начале 1950-х годов, будучи руководителем НИИ-1, Мстислав Всеволодович создал и возглавил группу талантливых молодых математиков и механиков в Математическом институте им. В.А. Стеклова АН СССР (МИАН), которая занималась теорией космического полёта, проблемами устойчивости, динамики, управления и оптимизации параметров многоступенчатых ракет.

Начались первые исследования, связанные с выводом искусственных небесных тел на околоземную орбиту, полётами к Луне и планетам. Параллельно с механикой космического полёта и автономной навигацией изучались тепловые режимы спутника и условия теплообмена в космической среде, поведение элементов и систем в невесомости и глубоком вакууме, возможности передачи и обработки телеметрической информации и многие другие вопросы. Эти исследования нашли практическое воплощение в работах конструкторов по созданию ракет-носителей для полётов в космос, стали основой для нескольких поколений космических аппаратов. Вскоре в МИАНе сложился коллектив высококвалифицированных специа-

листов, который в 1953 г. выделился в самостоятельную организацию – Отделение прикладной математики. В 1966 г. Отделение преобразовали в Институт прикладной математики (ИПМ) АН СССР, который сейчас носит имя основателя и бессменного директора Мстислава Всеволодовича Келдыша. Кроме участия в крупных государственных проектах ИПМ АН СССР сыграл огромную роль в становлении и развитии космических исследований.

Первая из семейства управляемых баллистических ракет (Р-1) с дальностью полёта около 300 км стартовала в СССР 10 октября 1948 г., а с 1949 г. в стране уже регулярно проводились запуски созданных на основе Р-1 высотных геофизических ракет (их ещё называли академическими) для зондирования верхней атмосферы Земли, изучения ионосферы, получения ультрафиолетовых и рентгеновских спектров Солнца, медико-биологических исследований на животных. Сначала ракеты запускали до высоты немногим более 100 км, а в последующем – свыше 500 км.

21 августа 1957 г. состоялся пуск первой межконтинентальной баллистической ракеты (МБР) Р-7. Это событие положило начало созданию ракетно-ядерного щита для защиты нашей страны (или, как отметил в книге “Ракеты и люди” заместитель Королёва Б.Е. Черток [2], скорее, “меча” как меры неотвратимого возмездия) и стало основой концепции взаимного сдерживания, на многие десятилетия обеспечив мирное сосуществование двух сверхдержав – СССР и США. В создании этого щита исключительная роль принадлежит трём выдающимся учёным, “Трёх К”, как их часто на-



М.В. Келдыш и С.П. Королёв

зывали, — И.В. Курчатову, С.П. Королёву и М.В. Келдышу.

В ходе разработки первых боевых ракет Королёв и Келдыш поняли, какие широкие перспективы открывает ракетная техника для развития науки, культуры, народного хозяйства. По их инициативе были развёрнуты подготовительные работы к космическим полётам, что потребовало проведения комплекса научных исследований, развития ряда новых научных направлений. Разработка межконтинентальной баллистической ракеты помогла не только решить многочисленные технические проблемы, но и открыла перспективы создания первого поколения ракет-носителей для выхода аппаратов в космос. В 1955 г. в Казахстане, вблизи поселка Тюра-Там, началось строительство крупнейшего стартового комплекса — космодрома Байконур. Сейчас, оглядываясь назад, поражаешься, как буквально с нуля в суровых климатических условиях казахстанской степи героическим трудом военных строителей всего за полтора года был создан грандиозный комплекс на основе межконтинентальной баллистической ракеты Р-7 — знаменитой королёвской «семёрки». В последующие годы на Байконуре построили другие сооружения, в том числе для запуска ракет УР-500 («Протон»), Н-1, «Энергия-Буран», которые по сей день производят ошеломляющее впечатление.

Одновременно с подготовкой к запуску первого спутника началась разработка научной программы и идеологии экспериментов в космическом пространстве с использованием принципов

ально нового инструмента — искусственного спутника Земли (ИСЗ). В феврале 1954 г. для обсуждения научной программы полёта первого спутника М.В. Келдыш собрал совещание, в работе которого приняли участие крупные учёные страны: П.Л. Капица, С.Н. Вернов, А.Е. Чудаков, В.И. Красовский, Л.В. Курносова и другие. Сергей Павлович Королёв рассказал о перспективах создания спутника, выразив уверенность в том, что этот проект в недалёком будущем будет осуществлён. Мстислав Всеволодович призвал присутствующих подумать над тем, какие измерения на данный момент представляют наибольший интерес.

В 1954 г. С.П. Королёв, М.В. Келдыш и М.К. Тихонравов, убедившись в правильности сделанных расчётов и проектных оценок, обратились в Правительство с докладной запиской, предложив развернуть научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по изучению и освоению космического пространства. В записке обосновывалась научная и техническая возможность создания и запуска искусственного спутника Земли, необходимые для этого организационные мероприятия. Правительство поддержало инициативу учёных, приняв в январе 1956 г. соответствующее решение.

В том же году М.В. Келдыш возглавил созданную в Академии наук СССР Специальную комиссию по объекту «Д» — искусственному спутнику Земли. Его заместителями стали С.П. Королёв и М.К. Тихонравов. Комиссия предложила три варианта спутника, отличавшихся составом научной аппаратуры, к разработке которой были привлечены многие видные учёные-физики.

В основе ракеты-носителя для вывода на околоземную орбиту ИСЗ лежала двухступенчатая МБР Р-7, выполненная по «пакетной» схеме — четыре боковых блока первой ступени располагались вокруг центрального блока второй ступени. Однако много нового было внесено и в систему управления и наземного обеспечения полёта. Двигатели четырёх независимых блоков первой ступени и блока второй ступени ракеты включались одновременно на Земле, что обеспечивало большую начальную тягу. После израсходования топлива блоки первой ступени сбрасывались, а продолжавшая работать вторая ступень придавала ракете необходимую конечную скорость, чтобы спутник мог обращаться на орбите вокруг Земли.

Запуск 4 октября 1957 г. первого в мире искусственного спутника Земли стал эпохальным событием, открывшим космическую эру человечества. За рукотворной звёздочкой, перемещавшейся среди небесных светил на ночном небосводе, с восхищением наблюдали люди планеты, сигналы спутника, принимавшиеся на расстоянии до 10—



М.В. Келдыш и С.П. Королёв на полигоне Байконур. 1962 г.

12 тыс. км, слушал весь мир. “Мы сами не сразу осознали всю важность того, что произошло”, — вспоминал Мстислав Всеволодович об этом выдающемся достижении. В лекции, прочитанной в 1965 г. в Королевском обществе в Лондоне, он говорил: “Я думаю, что мы по праву можем сказать, что запуск Советским Союзом первого искусственного спутника Земли открыл первую из многих новых страниц науки о Вселенной, которые человек только начал перелистывать. Этот успех был достигнут благодаря высокому уровню развития ракетной техники, которая, я позволю себе выразить надежду, будет всё в большей мере служить развитию науки и полезным для человечества целям. Вероятно, излишне говорить о том, что создание средств для осуществления космических полётов требует высокого уровня организации промышленности, работы многих конструкторских организаций и исследования многих научных проблем” [3, с. 639].

А меньше чем через месяц, 3 ноября 1957 г., был выведен на орбиту второй искусственный спутник Земли. В отличие от первого, он не отделялся от последней ступени ракеты-носителя. На нём размещались физические приборы, измерительные системы и контейнер с подопытным животным — собакой Лайкой. Это был первый орбитальный полёт живого существа в космос. В мае 1958 г. запустили третий спутник, который с полным правом можно назвать первой научной лабораторией в космосе. С его помощью впервые удалось выполнить прямые измерения магнитного поля Земли на больших высотах, мягкой геокорпускулярной радиации, вызывающей полярные сияния, химического состава и плотности верх-

ней атмосферы, электронной концентрации в ионосфере, плотности метеорного вещества в окрестности Земли. В качестве источника энергии здесь впервые испытывались солнечные батареи, получившие в дальнейшем широкое применение на космических аппаратах.

Запущенные по программе Международного геофизического года (1957—1958 гг.) первые советские, а начиная с января 1958 года и американские ИСЗ позволили получить сведения фундаментального значения о физических свойствах околоземного космического пространства. Возникла новая область науки — космическая физика, использующая, наряду с традиционными методами экспериментальной физики, новые средства с учётом специфики изучаемой среды и возможностей бортовой аппаратуры. У её истоков стоял М.В. Келдыш. Он, особенно на первых порах, досконально вникал в научную проблематику, лежавшую в сфере профессиональных интересов геофизиков, астрофизиков, биологов, с неизменным интересом обсуждал задачи и цели исследований, руководил выбором предлагавшихся экспериментов вплоть до наиболее рационального распределения телеметрических каналов между участниками при ограниченных возможностях передачи информации на Землю. Мстислав Всеволодович сумел сплотить исследователей вокруг общего дела, увлечённо обсуждал с ними результаты экспериментов и неизвестные новые явления. С учётом этих дискуссий, приобретённого опыта и расширившихся возможностей космической техники формировались целенаправленные программы исследований.



Анализ панорамы лунной поверхности, переданной космическим аппаратом “Луна-9”. 1966 г.

Келдыш часто бывал на ракетных полигонах, участвовал в заседаниях госкомиссий, вместе с Королёвым и ведущими специалистами готовил к запуску космические аппараты — всего не перечислишь.

Воодушевление и энтузиазм, сопровождавшие участников запуска первого ИСЗ, вселяли уверенность в безграничные возможности космических полётов. Через год с небольшим были осуществлены первые полёты космических ракет к Луне, сфотографирована её невидимая с Земли обратная сторона. Это потребовало создания дополнительной ступени ракеты-носителя, чтобы сообщить лунной автоматической станции вторую космическую скорость. Замечательно, что для осуществления руководимого Келдышем облёта Луны использовалась не только сила тяги ракетных двигателей, но и силы тяготения Луны и Земли. Это позволило создать орбиту, близкую к эллиптической, с одним из фокусов в центре Земли. Снимки, переданные автоматической станцией “Луна-3”, легли в основу первой карты лунной поверхности и лунного глобуса. Позднее была осуществлена мягкая посадка аппарата на Луну и получена первая в мире панорама её поверхности. Эти исторические достижения предшествовали началу ширококомасштабных исследований ближайшего к нам космического тела.

Старты к Луне показали, что космонавтика вступила в качественно новый этап своего развития — полётам автоматических станций к планетам Солнечной системы. Это потребовало решения новых сложных задач по баллистике и энергетике ра-

кет-носителей, навигации и управлению, обеспечению надёжности бортовой аппаратуры в условиях длительного космического полёта, устойчивости радиосвязи на расстояниях в сотни миллионов километров от Земли. Кроме того, возникла необходимость проведения серии радиолокационных измерений с целью уточнить фундаментальные астрономические постоянные и параметры движения планет. Этим вопросам Келдыш уделял большое внимание.

В руководимом им Институте прикладной математики получило развитие новое научное направление — баллистическое проектирование межпланетных перелётов, включающее цикл исследований по комплексному анализу и увязке бортовых систем автоматического управления космического аппарата с баллистико-навигационным наземным обеспечением. Примером эффективного воплощения результатов этих исследований в практику космических перелётов стала разработанная в начале 1960-х годов академиком Т.М. Энеевым оригинальная схема вывода аппарата на межпланетную трассу. По этой схеме космический аппарат, снабжённый маршевым ракетным двигателем, вначале выводится на почти круговую орбиту искусственного спутника Земли, а затем стартует с неё почти в горизонтальном направлении, что требует минимальных энергетических затрат. Такой баллистический манёвр, позволявший стартовать с оптимальной точки земного шара, применялся во всех отечественных межпланетных запусках космических аппаратов.



Проводы Ю.А. Гагарина в полёт. Байконур. 12 апреля 1961 г.

По инициативе М.В. Келдыша в ИПМ был создан специальный вычислительный центр по обработке траекторной информации и выдаче управляющих команд на борт межпланетного космического аппарата. Вместе с двумя другими аналогичными центрами он стал важным звеном общего контура управления полётами в дальний космос. Одновременно институт успешно развивал исследования по астрофизике и физике планет, достижения в этих областях получили мировое признание.

Наряду с традиционным математическим семинаром, в институте регулярно собирался руководимый Келдышем семинар по космической физике с участием ведущих учёных и специалистов, на котором докладывались наиболее интересные результаты научных экспериментов. Острые и заинтересованные обсуждения на семинаре становились высочайшим критерием проверки актуальности и значимости проводимых исследований.

Новым крупным шагом в развитии космонавтики стали полёты человека в космос. Организация первого полёта Ю.А. Гагарина, положившего начало эре освоения человеком космического пространства, — громадный успех отечественной космонавтики. Его вместе с С.П. Королёвым по праву разделил М.В. Келдыш.

На пути к этой цели за короткий срок были преодолены серьёзные научные и технические трудности: создана трёхступенчатая ракета-носитель “Восток” для надёжного вывода на орбиту

корабля-спутника весом в несколько тонн; разработаны системы, которые обеспечивали пребывание в космическом корабле космонавта, подвергавшегося большим перегрузкам во время взлёта и посадки, находившегося в состоянии невесомости, в условиях повышенной радиации и почти полного вакуума во внешней среде. Принципиально новые задачи решались при создании систем управления кораблём в полёте и возвращения его на Землю, а также систем обеспечения жизнедеятельности космонавта — кондиционирования, регенерации воздуха, терморегулирования.

В марте 1961 г. прошли два последних контрольных пуска созданного напряжённым трудом учёных, инженеров и конструкторов корабля “Восток”, во время которых в кабине находились подопытные животные, а в кресле пилота — манекен “Иван Иванович”. Других пусков, вопреки появившимся позднее в прессе домыслам о полёте с гибелью предшественника первого космонавта, не было.

Казалось, всё было тщательнейшим образом продумано и проверено. Тем не менее первый полёт человека таил много загадок. История сохранила кинодокументы, запечатлевшие М.В. Келдыша на стартовой позиции, когда он поднимается на лифте на монтажную площадку и осматривает космический корабль “Восток”. На других кадрах — заседание Государственной комиссии, где Гагарин утверждался пилотом “Востока”; С.П. Королёв и М.В. Келдыш слуша-



Приём в АН СССР после полёта В.А. Шаталова (справа от М.В. Келдыша) на корабле “Союз-4” и ручной стыковки с кораблём “Союз-5”. Слева — М.Я. Маров. Январь 1969 г.

ют доклады о готовности к полёту; проводы Гагарина. Позднее Мстислав Всеволодович вспоминал о волнении, которое они с С.П. Королёвым испытывали в бессонную ночь накануне старта первого космонавта.

Рано утром 12 апреля 1961 г. корабль “Восток” с Ю.А. Гагариным был выведен на орбиту и, совершив один виток вокруг планеты, благополучно возвратился на Землю. Сейчас, по прошествии полувека, можно открыто говорить о том, что тогда было известно лишь узкому кругу специалистов. Конечно, далеко не всё удалось предусмотреть в крайне напряжённом графике подготовки корабля, были отдельные сбои в работе систем на разных участках полёта, которые могли привести к фатальному исходу, но всё обошлось и закончилось настоящим триумфом. Откровенно говоря, нам тогда сопутствовала удача. Известно, однако, что удача находит тех, кто на пределе собственных сил совершает поступки, которые порой кажутся невозможными.

Полёт Гагарина вселил уверенность в правильности основополагающих принципов развития космонавтики. За ним последовали суточный полёт Германа Титова, полёт первой женщины-космонавта Валентины Терешковой, всё более длительные успешные одиночные и групповые полёты кораблей-спутников. Были созданы многоместные корабли “Восход” и “Союз”, осуществлён первый выход человека — Алексея Леонова — в открытый космос, начата широкая программа научных, технических и медико-биологических экспериментов с участием космонавтов-исследователей, обживавших космос на долговременных орбитальных станциях. Американские астронавты по-

бывали на Луне. Но первый гагаринский виток, ставший прорывом в неизвестное, никогда не будет забыт человечеством.

К великому сожалению, несмотря на огромные усилия и затраты, нам не удалось осуществить полёт человека на Луну по программе Н1-Л3 и составить конкуренцию США с их успешной программой “Аполлон”. Случилось это по целому ряду причин, объективный анализ которых дан в книге Б.Е. Чертока “Ракеты и люди” [2].

М.В. Келдыш, отдавший проекту пилотируемого полёта на Луну много времени и сил, глубоко переживал нашу неудачу с лунной программой, не раз подчёркивал неэффективность работы над проектом и слабость руководства после кончины С.П. Королёва.

Надо сказать, что Мстислав Всеволодович с самого начала сомневался в правильности выбора Королёвым двигателей конструкции Н.Д. Кузнецова тягой 150 т для тяжёлой ракеты Н-1 вместо двигателей тягой 600 т В.П. Глушко. Королёв сделал такой выбор, основываясь на личных пристрастиях к низкокипящим (кислород-керосин) топливам в противовес высококипящим с токсичным несимметричным диметилгидразин-азотным тетраоксидом, поборником которых был Глушко. Это разногласие двух выдающихся конструкторов, отразившееся на их личных отношениях, стало одной из причин нашего проигрыша в лунной гонке. Сюда же следует отнести и неэффективность руководства лунной программой со стороны высших эшелонов власти, вследствие чего была потеряна реальная возможность облёта Луны на аппарате типа “Зонд” с космонавтом на



Пресс-конференция, посвящённая автоматическому забору грунта с поверхности Луны космическим аппаратом «Луна-16». МГУ, 1971 г.

борту, используя челомеевскую ракету УР-500 — «Протон». Дефекты пакета из 30 двигателей конструкции Н.Д. Кузнецова для первой ступени ракеты Н-1 проявились уже в начале лётных испытаний, что потребовало многочисленных доработок. В 1974 г. после четырёх неудачных пусков проект Н1-Л3 закрыли. Свою роль здесь сыграло и то обстоятельство, что после успешного завершения программы «Аполлон» проект высадки нашего космонавта на Луну потерял политическую мотивацию, а организационное и техническое лидерство с уходом С.П. Королёва было утрачено.

Лунную гонку с американцами, начатую в начале 1960-х годов, мы проиграли. Однако смогли противопоставить соперникам запуски нового поколения космических аппаратов для автоматического забора и доставки на Землю образцов лунных пород. На Луну были высажены и длительно функционировали на её поверхности автоматические самодвижущиеся аппараты «Луноход». Эти выдающиеся технические достижения были к тому же получены с минимальными затратами, несопоставимыми с программой «Аполлон», и в этом громадная заслуга Келдыша.

Не менее эффективным оказалось использование космических автоматов-роботов для исследования ближайших планет — Венеры и Марса, чему Мстислав Всеволодович всегда уделял огромное внимание. Энтузиазм в исследованиях

планет с ним разделял и С.П. Королёв. Ещё в 1960—1962 гг. в ОКБ-1 были созданы и запущены первые венерианские и марсианские аппараты 1МВ—3МВ. Интересно, что запланированный на 28 октября 1962 г. запуск на Марс одного из трёх аппаратов серии 2МВ пришёлся на пик Карибского кризиса, поставившего мир на грань самоуничтожения.

К огромному разочарованию и Королёва, и Келдыша выполнить намеченные программы исследований Венеры и Марса тогда не удалось. На это в немалой степени повлияла перегруженность Сергея Павловича тематикой научных, прикладных и оборонных исследований космоса. Чтобы ликвидировать это напряжение, были созданы филиалы в Самаре (ЦСКБ «Прогресс») и в Красноярске-26 (ОКБ-10, впоследствии НПО прикладной механики), где начали производить хорошо отработанные спутники оптической разведки «Зенит» и связные спутники «Молния-1». Филиалы возглавили талантливые конструкторы, ученики Сергея Павловича Д.И. Козлов и М.Ф. Решетнёв, развившие оба направления до их современного состояния.

Но, помимо работ над жидкостными и твердотопливными ракетами, в сфере интересов Королёва оставались ещё два больших направления — пилотируемые полёты и лунно-планетные автоматы. Надо сказать, что в этих вопросах Королёв и Келдыш не всегда были единомышленны: Королёв

при всём его энтузиазме относительно полётов к Луне и особенно — к Марсу всё же отдавал предпочтение пилотируемым программам, а Келдыш, в свою очередь, подчёркивал необходимость большей научной отдачи от них. Вновь процитируем Б.Е. Чертока: “Он очень агрессивно настаивал на полётах к Венере, Марсу, мягкой посадке на Луну, но как только дело доходило до пилотируемых пусков, Келдыш ждал инициативы Королёва” [2, с. 230]. В программах пилотируемых полётов Мстислав Всеволодович основное внимание уделял медико-биологическим исследованиям, детальному дистанционному изучению Земли, технологическим и другим экспериментам, где человек действительно необходим. Это лежало в основе стратегической линии, неуклонно проводившейся им в жизнь.

На успехи лунно-планетных исследований повлияла передача в конце 1965 г. этой тематики из ОКБ-1 С.П. Королёва в КБ Машиностроительного завода им. С.А. Лавочкина (бывшее Специальное конструкторское бюро С.А. Лавочкина, впоследствии КБ вместе с заводом № 301 были преобразованы в НПО им. С.А. Лавочкина). Передача произошла по инициативе М.В. Келдыша с согласия С.П. Королёва. Оба отчётливо понимали, что в условиях сильно расширившейся космической программы необходимо подключить новые мощности и квалифицированных специалистов. Авиационное КБ С.А. Лавочкина полностью отвечало этим требованиям. Вместе с конструкторской документацией КБ получило неоценимый опыт, наработанный при лётных испытаниях лунно-планетных аппаратов, который Королёв называл “процессом познания”. Инициативу М.В. Келдыша поддержал секретарь ЦК КПСС по оборонной промышленности Д.Ф. Устинов. Важность этого решения для наших исследований Луны и планет невозможно переоценить.

Новую конструкторскую организацию — НПО им. С.А. Лавочкина — возглавил талантливый учёный и инженер, страстный энтузиаст исследований Солнечной системы Георгий Николаевич Бабакин. Мстислав Всеволодович любил этого незаурядного, энергичного человека, сумевшего мобилизовать коллективы авиационных конструкторов и смежных организаций на решение сложных задач межпланетных полётов. За небывало короткий срок было создано нескольких новых поколений автоматических космических аппаратов, что в нынешних условиях, при неизмеримо разросшейся бюрократии, представляется совершенно невероятным. История создания, конструкция лунно-планетных аппаратов и полученные результаты подробно изложены в работе [4].

В планетных исследованиях, прежде всего в изучении Луны и Венеры, нам удалось добиться

поистине исторических успехов. Мягкая посадка на Луну аппарата “Луна-9” 3 февраля 1966 г. стала выдающимся достижением отечественной науки и техники, своего рода памятником ушедшему из жизни меньше чем за месяц до этого С.П. Королёву, инициировавшему программу “Е-6”. Почти одновременно с мягкой посадкой и запуском первых искусственных спутников Луны наши космические аппараты были посланы к другим планетам.

Полёты автоматических станций “Венера”, начатые успешным запуском “Венеры-4” в 1967 г., позволили впервые в мире совершить посадку нескольких аппаратов на Венеру и осуществить комплекс прямых измерений параметров её атмосферы и облаков, освещённости и свойств поверхности, передачу цветных панорам и радиокартирование поверхности планеты. Посадочные аппараты в чрезвычайно сложных условиях окружающей среды, при высоких температуре и давлении могли выживать на поверхности Венеры в течение почти двух часов, что стало крупным научно-техническим достижением, до сих пор не превзойдённым в мире. В 1971 г. “Марс-3” впервые совершил мягкую посадку на поверхность Марса, а “Марс-6” первым провёл прямые измерения параметров атмосферы этой планеты. Благодаря искусственным спутникам Венеры и Марса были исследованы свойства атмосферы и околопланетного пространства этих ближайших к Земле планет.

М.В. Келдыш придавал планетным исследованиям огромное значение, всемерно поддерживал Г.Н. Бабакина. Тот часто приезжал в ИПМ, знакомил Мстислава Всеволодовича с новыми идеями, результатами разработок, внимательно прислушивался к замечаниям и советам. Келдыш, в свою очередь, регулярно посещал КБ Г.Н. Бабакина, присутствовал на защите проектов, участвовал в совещаниях главных конструкторов.

Деловые, заинтересованные рассуждения вариантов конструкции аппаратов и бортовых систем, путей эффективного решения научных задач длились иногда по несколько часов. Часто обсуждения плавно перетекали в цех и продолжались вблизи собираемого или испытываемого аппарата, при этом Келдыш неизменно обращал внимание на необходимость всесторонних наземных испытаний с целью обеспечения их высокой технической надёжности. При его поддержке на предприятии Г.Н. Бабакина был создан специальный стенд для имитации спуска космического аппарата в горячей атмосфере Венеры и посадки на её поверхность. Такие испытания “на выживаемость” и работоспособность венерианских посадочных аппаратов обеспечили успех нашей многолетней программы исследования планеты.



В президиуме АН СССР. Справа налево: М.В. Келдыш, директор ЦНИИмаш Ю.А. Мозжорин, М.Я. Маров, председатель Совета “Интеркосмос” при АН СССР академик Б.Н. Петров

Наряду с изучением ближнего космоса и планет, М.В. Келдыш уделял большое внимание внеатмосферной астрономии. Космические аппараты открыли новые уникальные возможности для наблюдений во всём диапазоне длин волн — началась эра всеволновой астрономии. Исследования фундаментальных основ строения материи и мироздания неизменно были в поле зрения Мстислава Всеволодовича [5].

Вместе с тем он постоянно заботился о том, чтобы программы экспериментов отвечали наиболее актуальным задачам, реальным техническим и экономическим возможностям. Хорошо понимая уровень затрат на космические исследования, Келдыш искал наиболее выгодные пути решения проблем, выдвигаемых космонавтикой, оптимального использования энергетики ракет-носителей.

М.В. Келдыш сыграл решающую роль в осуществлении идеи разработки относительно дешёвых ракет-носителей на основе модифицированных баллистических ракет для выведения на орбиту семейства малых спутников. Эта идея была воплощена в унифицированных ИСЗ, рождённых в конструкторском бюро Михаила Кузьмича Янгеля — создателя нескольких поколений отечественных боевых баллистических ракет. Запуски этих спутников, получивших название “Космос”, положили начало многолетним исследованиям околоземного космического пространства и международному сотрудничеству по программе “Интеркосмос” на базе автоматической универсальной орбитальной станции. Мстислав Всеволодович был инициатором программы “Интеркосмос”, объе-

динившей страны социалистического содружества, к которым вскоре присоединилась Франция. Это плодотворное сотрудничество продолжалось многие годы. В рамках “Интеркосмоса” на наших орбитальных станциях были осуществлены пилотируемые полёты международных экипажей, в состав которых входили космонавты многих зарубежных стран.

В январе 1971 г. Москву посетила американская делегация во главе с заместителем директора НАСА Джорджем Лоу. В АН СССР прошли переговоры, завершившиеся подписанием документа о сотрудничестве по ряду направлений космической деятельности. С нашей стороны документ подписал М.В. Келдыш, возглавлявший советскую делегацию. Это был настоящий прорыв в отношениях между двумя ведущими космическими державами, ослабивший соперничество и конфронтацию. Следует подчеркнуть, что произошло это во время холодной войны на фоне ещё не закончившейся программы “Аполлон”. Данному событию в немалой степени способствовали успешные полёты советских автоматических аппаратов к Луне, Венере, Марсу, пилотируемые полёты космонавтов и результаты прикладных исследований. На протяжении почти десяти лет изучение космоса осуществлялось в рамках четырёх совместных рабочих групп: “Исследования космического пространства, Луны и планет”, “Космическая связь”, “Космическая метеорология”, “Космическая биология и медицина”. И хотя работа этих групп прекратилась с приходом к власти в США администрации Р. Рейгана, она, несомненно, способствовала российско-амери-



М.В. Келдыш и академик Л.А. Арцимович в Карачаево-Черкесии, недалеко от станции Зеленчукской, — на месте будущего строительства шестиметрового оптического телескопа и радиотелескопа РАТАН-600

канскому сотрудничеству в космосе, включая осуществление исторического полёта и стыковки кораблей “Союз-Аполлон”.

Более 20 лет М.В. Келдыш возглавлял исследования космического пространства, будучи бесменным руководителем авторитетнейшего в стране коллегиального органа — Междуведомственного научно-технического совета по космическим исследованиям (МНТС по КИ) при АН СССР. Совет как закрытый орган, наряду с координацией научных и прикладных исследований, анализом перспективных космических проектов, рассматривал ряд оборонных вопросов. В его состав входили наиболее авторитетные учёные АН СССР и руководители ведущих предприятий ракетно-космической отрасли, включая С.П. Королёва, членов легендарного Совета главных конструкторов (В.П. Глушко, В.П. Бармин, Н.П. Пилюгин, М.С. Рязанский, В.И. Кузнецов), директоров крупных научно-исследовательских институтов. В конференц-зале ИПМ на протяжении многих лет регулярно проходили заседания Совета, собиравшие цвет ракетно-космической отрасли. Заслушивались доклады и сообщения по актуальным текущим и перспективным проблемам освоения космоса, принимались ответственные решения, которые докладывались руководству страны и становились основой директивных документов. Мстислав Всеволодович был настоящим лидером, инициатором обсуждений различных точек зрения по спорным вопросам, иногда

эти дискуссии напоминали настоящий мозговой штурм.

Помимо официальных заседаний МНТС по КИ, в кабинете Мстислава Всеволодовича (сейчас здесь располагается Кабинет-музей М.В. Келдыша) проходили рядовые совещания — либо по просьбе главных конструкторов, либо по инициативе самого Келдыша. К нему постоянно приезжали руководители предприятий с вопросами, возникавшими в процессе проектирования космических аппаратов и ракетных комплексов. Часто на такие совещания приглашались представители смежных организаций для обсуждения проблем, мешающих созданию более совершенных и надёжных систем. Ещё раз надо подчеркнуть способность Келдыша не только умело определять перспективные направления космических исследований, но и решать многие вопросы прикладного, практического использования космоса, в первую очередь для связи и навигации, дистанционного зондирования земных ресурсов, геодезии и картографии, экологии.

Три важнейших качества выделяли М.В. Келдыша как председателя МНТС по КИ: глубокое понимание научных и технических проблем, которые возникали при освоении космоса и требовали принятия решений, искренняя увлечённость и преданность космическим исследованиям в сочетании с огромной ответственностью перед страной за это направление деятельности и, наконец, способность оставаться настоящим лидером — не по положению, а по призванию. Его

авторитет и для руководства страны, и для творческих коллективов, привлечённых к космическим исследованиям, был непререкаемым. К нему обращались за советом главные конструкторы, руководители НИИ и КБ, крупные учёные. Когда возникали сложные проблемы, казавшиеся неразрешимыми, они говорили: “Надо пойти посоветоваться к Мудрому”. Сама жизнь многократно подтверждала, сколь глубоки и справедливы были его советы.

Келдыш был не просто идеологом, зачинателем и душой многих космических проектов, он всегда руководствовался исключительно интересами дела, будучи свободным от каких-либо конъюнктурных соображений. Такой подход отличал его как руководителя. Многим памятли деловые, обстоятельные и вместе с тем демократичные обсуждения научных программ, связанных с разработкой автоматических межпланетных станций для исследования Марса, Венеры и Луны, экспериментов на орбитальных станциях “Салют”. Келдыш собирал у себя учёных-специалистов и обсуждал с ними результаты предварительных технических проработок концептуального облика космического объекта и его возможности, состав научных приборов. На такие встречи вместе с авторами экспериментов обычно приглашались и их оппоненты, в том числе те, чьи предложения не были одобрены на секционных рассмотрениях. Всем предоставлялось слово для дополнительной аргументации в защиту своих предложений. В ходе обсуждения определялся и окончательно утверждался перечень экспериментов, формулировались технические требования к космическому объекту, которые должны были реализовать конструкторские организации. Быть приглашённым на совещание к М.В. Келдышу считалось честью, а выступить — большой ответственностью. Он внимательно слушал каждого, не навязывал собственного мнения, но вместе с тем умел настолько точно обосновывать свою точку зрения, что она, как правило, находила понимание и поддержку у большинства присутствующих. Столь же ясной аргументации он требовал от других, уважал в людях убеждённость, настойчивость, собранность [6]. Часто такие обсуждения заставляли собеседника по-новому, критично взглянуть на результаты работы, о которых он пришёл доложить, высвечивали новые, неожиданные грани проблемы. В числе собеседников Келдыша были и космонавты, которых он приглашал после возвращения на Землю. Мстислав Всеволодович интересовался ощущениями после полёта, проведёнными экспериментами, бытовыми условиями на корабле или станции, выслушивал критические замечания, содействовал решению проблем и устранению недостатков.

Мне неоднократно доводилось видеть, каким колоссальным авторитетом Мстислав Всеволодо-

вич пользовался среди тех, с кем он так или иначе соприкасался, — от простых исполнителей и крупных учёных до руководителей страны. Особенно памятли в этой связи совещания у Д.Ф. Устинова с участием министров, главных конструкторов, директоров заводов, которые проходили примерно раз в месяц по субботам, поэтому их называли “субботниками”. Говорили о состоянии работ по текущим и перспективным проектам, виновные в срывах установленных сроков подвергались настоящему разносу, но одновременно анализировались причины отставания и меры по устранению проблем. Устинов был крутым руководителем, его гнева и взысканий боялись. Обычно перед тем, как подвести итоги того или иного обсуждавшегося вопроса, он обращался к сидевшему рядом М.В. Келдышу и спрашивал: “Мстислав Всеволодович, ну, а ты что думаешь?”. И Келдыш в свойственной ему манере ровным, спокойным голосом и весьма аргументированно излагал своё видение проблемы, предлагал способы её решения. После чего Устинов обычно говорил: “Ну, хорошо, так и запишем”. Можно ли ещё весомее оценить роль учёных Академии наук в тот период нашей истории?

Часто М.В. Келдыш оказывал определяющее влияние на принципиально важные решения в обеспечении безопасности страны. Так было в конце 1960-х годов, когда остро встал вопрос о выборе между двумя ведущими школами — М.К. Янгеля и В.Н. Челомея — по созданию, серийному производству и постановке на боевое дежурство стратегических баллистических ракет с ядерным зарядом. Другой пример: в остром противоборстве С.П. Королёва и В.Н. Челомея, на фоне эйфории в связи с разработкой королёвской сверхтяжёлой ракеты-носителя Н-1, Келдыш решительно отстоял необходимость создания челомеевской ракеты среднего класса УР-500 (“Протон”). Эта ракета на долгие годы обеспечила наши полёты к Луне и планетам, вывод орбитальных станций, получила спрос на мировом рынке ракет-носителей. Сейчас даже трудно представить, что стало бы с нашими космическими исследованиями, не будь этой ракеты, поскольку проект Н-1 осуществить не удалось. Такое же значение имела и инициатива Мстислава Всеволодовича создать НПО им. С.А. Лавочкина и передать ему из КБ С.П. Королёва лунно-планетную тематику, что обеспечило наши исторические успехи в исследовании дальнего космоса. По его инициативе в АН СССР был создан Институт космических исследований. И это лишь несколько примеров.

М.В. Келдыш считал, что полёты в космос станут одним из величайших устремлений нашей цивилизации и упорно работал над претворением в жизнь мечты К.Э. Циолковского о завоевании человечеством всего околосолнечного простран-

ства. В упомянутой лекции в Лондонском Королевском обществе он отмечал: “Мы верим, что прогресс науки и техники приведёт к осуществлению межпланетных перелётов, и, может быть, когда-то это будет казаться обычным, а современные космические корабли столь примитивными, как в наше время древние пироги по сравнению с современными океанскими лайнерами” [3, с. 640]. Вместе с тем он постоянно подчёркивал высочайшую ответственность за использование достижений науки в мирных целях на благо всех людей на Земле и был убеждён, что овладение космосом должно способствовать достижению этих целей. Он подчеркивал, что человечество вступило в новую эпоху овладения сокровенными тайнами природы, скрытыми в глубинах космоса, и что новые явления, которые мы встретим на других планетах, будут использованы для улучшения жизни на Земле.

Мстислав Всеволодович рассматривал освоение космоса как исторически predetermined этап на пути неуклонного прогресса человеческого общества. Философски осмысливая этот этап, он полагал, что сам процесс перехода к взаимодействию человека с природой на Земле во всё более расширяющихся масштабах, к глобальному использованию ресурсов и воздействию на окружающую среду неизбежно должен привести к появлению принципиально новых средств изучения собственной планеты и контроля за её состоянием, к расширению сферы деятельности на примыкающие к ней области космического пространства. По его словам, развитие ракетно-космической техники, непрерывно стимулированное растущими потребностями её применения в различных областях науки, экономики, культуры, призвано сыграть важнейшую, возможно, определяющую роль в решении прежде всего сырьевых, энергетических и экологических проблем. Основываясь на историческом опыте, подчёркивал он, можно ожидать, что, подобно другим крупнейшим свершениям человечества, последствия выхода в космос многократно превзойдут в отдалённой перспективе сегодняшний непосредственный эффект и окажут глубочайшее воздействие на последующий ход эволюции нашей цивилизации.

Выступая на юбилейном заседании Общего собрания АН СССР, посвящённом 500-летию со дня рождения Николая Коперника, Келдыш говорил: “Мы переживаем эпоху, когда астрономия, опираясь на общую теорию относительности, успехи современной физики и почти фантастические открытия новых поразительных объектов во Вселенной, стоит на пороге новых великих сдвигов в нашем мировоззрении. Мы переживаем эпоху, когда человек оторвался от Земли и получает возможность непосредственного исследования планет. Человек, несомненно, до-

стигнет других планет и, может быть, других миров, когда физикой будут открыты новые, ещё более эффективные источники энергии. И одним из важнейших вопросов развития мировоззрения являются вопросы о том, есть ли жизнь где-либо, кроме Земли, не занимает ли человек Земли в этом смысле исключительного положения, происходят ли во Вселенной ещё неизвестные нам процессы превращения энергии и массы, которые могут быть использованы для блага человека. Наука вечно будет обогащать наше познание, открывать новые средства улучшения жизни на Земле” [3, с. 619].

Мстислав Всеволодович отчётливо сознавал и большое общественно-политическое значение космоса как новой сферы человеческой деятельности. Он подчеркивал, что эта сфера оказала и продолжает оказывать существенное влияние не только на прогресс науки и техники, но и на мировосприятие и психологию современного человека, на общественную жизнь. Выход в космос, ставший исторической, поворотной вехой на пути развития цивилизации, говорил Келдыш, дал возможность взглянуть из глубины его безграничных просторов на собственную, совсем небольшую планету, расширил и изменил сферу нашего мышления. Он верил, что укрепившееся с развитием космических исследований сознание собственной уязвимости при ограниченности земных масштабов, с учётом непрерывно возрастающих возможностей науки и техники в овладении силами природы, будет способствовать усиливающемуся в мире чувству ответственности за судьбу нашей планеты.

Такова была его жизненная позиция — учёного и гражданина, глубоко преданного идеалам мира и прогресса, заботящегося о судьбах всего человечества. Этой преданностью высоким гуманистическим целям было проникнуто и его понимание роли учёных в современном мире. Мстислав Всеволодович неоднократно подчёркивал высочайшую ответственность учёных, их роль в борьбе за сохранение мира перед лицом тотального уничтожения цивилизации в ставшей суровой реальностью возможности ядерной катастрофы. Об этой необходимости он говорил, в частности, выступая в 1962 г. на Всемирном конгрессе за всеобщее разоружение и мир. Ему принадлежат замечательные слова: “Долг учёных — самым решительным образом выступить против агрессивных сил, готовящих войну. Зная в вопросе о ракетно-ядерной войне больше, чем другие люди на земле, учёные всех стран должны сделать всё, чтобы поднять народы на борьбу против войны, быть в первых рядах тех, кто борется за разрешение проблемы разоружения, за запрещение на вечные времена всех видов оружия массового уничтожения... Учёные должны использовать всё свое влияние, весь свой авторитет в народе, в парламентах

и в правительствах, чтобы не допустить развязывания новой мировой войны” [3, с. 628]. И далее: «Сегодня учёный не имеет права замкнуться в той сфере, в которой он работает, и отвергнуть общественную деятельность как нечто чужеродное, несовместимое с наукой. Мне вспоминаются в этой связи слова, вложенные великим немецким драматургом Брехтом в уста героя своего произведения “Галилео Галилей”: “...если учёный не будет осознавать свою ответственность перед обществом, то настанет день, когда на очередное новое научное открытие человечество откликнется воплем ужаса”» [там же, с. 628]. В этих словах весьма образно и точно сформулирована ответственность учёного перед обществом.

М.В. Келдыш прожил большую яркую жизнь, оставив богатейшее наследие будущим поколениям. Вместе с С.П. Королёвым он был инициатором широкого развёртывания работ по изучению и освоению космоса. Эти два настоящих лидера обеспечили блестящие успехи советской науки и техники в начале космической эры.

Мстислав Всеволодович руководил исследованиями космического пространства до конца своей жизни, проявляя живой интерес к новым идеям и открытиям. Можно с уверенностью сказать, что сегодняшние достижения в этой области корнями уходят в созидательную творческую деятельность М.В. Келдыша.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Голованов Я.* Королёв: факты и мифы. М.: Наука, 1994.
2. *Чертюк Б.Е.* Ракеты и люди. Горячие дни холодной войны. М.: Изд-во Машиностроение, 1997.
3. *Келдыш М.В.* Избранные труды. Общие вопросы развития науки. М.: Наука, 1985.
4. *Маров М.Я., Хантрес У.Т.* Советские роботы в Солнечной системе. Технологии и открытия. М.: Физматлит, 2017.
5. *Келдыш М.В., Маров М.Я.* Космические исследования. М.: Наука, 1981.
6. М.В. Келдыш. Творческий портрет по воспоминаниям современников. М.: Наука, 2002.

РУКОВОДИТЕЛЬ РАБОТ ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ В АТОМНОМ ПРОЕКТЕ К 110-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА М.В. КЕЛДЫША

© 2021 г. Н. Г. Афендикова

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия

E-mail: keldysh111@gmail.com

Поступила в редакцию 09.11.2020 г.

После доработки 16.11.2020 г.

Принята к публикации 08.12.2020 г.

Участие выдающего учёного и организатора науки академика М.В. Келдыша в создании ракетно-ядерного щита нашей страны долгое время было засекречено. Широкой общественности Мстислав Всеволодович был больше известен как учёный, разрабатывавший теоретические вопросы космонавтики. Теперь, по мере рассекречивания документов по истории Атомного проекта СССР с грифом “Совершенно секретно. Особая папка”, становится очевидной его роль в разработке ядерных и термоядерных зарядов. М.В. Келдыш принимал участие в этом титаническом труде и как руководитель большого коллектива учёных, и как автор многих идей и эффективных вычислительных методов, направленных на скорейшее решение главной задачи – создание ракетно-ядерного щита СССР и обеспечение паритета между сверхдержавами – Советским Союзом и США. В статье анализируются опубликованные документальные материалы, свидетельствующие о степени вовлечённости Мстислава Всеволодовича в работу по советскому Атомному проекту.

Ключевые слова: Атомный проект СССР, академик М.В. Келдыш, расчётные работы, ЭВМ.

DOI: 10.31857/S086958732102002X

Впервые подробно об участии В.М. Келдыша в построении физико-математических моделей ядерного взрыва и последующем их воспроизведении в расчётах рассказал широкой аудитории один из ведущих разработчиков термоядерного оружия академик РАН Ю.А. Трутнев, выступивший на заседании президиума РАН, посвящённом 90-летию Мстислава Всеволодовича, с докладом “М.В. Келдыш и его коллектив в решении атомной проблемы” [1]. Незадолго до этого Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики (ВНИИЭФ), где разрабатывалась конструкция первой атомной бомбы РДС-1 и где Юрий Алексеевич долгое время (1960–1980) руководил расчётно-теоретическими работами, начал рассекречивать архивные материалы. Они составили основу теперь уже раритетного многотомного издания “Атомный проект СССР. Документы и материалы”, вышедшего с

1998 по 2009 г. под общей редакцией Л.Д. Рябева. Таким образом, у специалистов появилась возможность по письмам, докладным запискам руководителей, постановлениям Совета министров СССР проследить конкретные задачи, которые решал М.В. Келдыш и его сотрудники. А главное, понять, как он сначала как эксперт, а затем как один из исполнителей Атомного проекта встал в ряд с другими выдающимися учёными и организаторами науки, создавшими систему ракетно-ядерной защиты нашей страны.

Подбор использованных источников не претендует на полное освещение истории создания ядерного оружия и средств его доставки. Из множества документов выбраны те, в которых фигурирует имя Мстислава Всеволодовича и указаны поручавшиеся ему задания в рамках Атомного проекта.

М.В. Келдыша привлекли к расчётам атомного оружия в 1946 г. по инициативе физиков-ядерщиков. В то время он работал начальником отдела в Центральном аэрогидродинамическом институте, совмещая эту должность с обязанностями ведущего отдела механики в Математическом

АФЕНДИКОВА Надежда Геннадьевна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

институте им. В.А. Стеклова АН СССР (МИАН) и заместителя директора этого института. Тогда же в МИАНе усилили Расчётное бюро, которое возглавлял К.А. Семендяев, создав в нём теоретический сектор под руководством И.М. Гельфанда. Келдыш при этом отвечал за секретные работы в институте.

Первые теоретические исследования, связанные с возможностью использования ядерной энергии лёгких элементов, то есть создания водородной бомбы, начались в СССР в 1945 г. после получения сведений о том, что американцы уже ведут разработку оружия такого типа [2]. Фигурировавшая в разведанных водородная бомба “Super” в нашей стране получила индекс РДС-6 (реактивный двигатель специальный).

Постановление Совета министров СССР от 26 февраля 1950 г. “О работах по созданию РДС-6” [3, с. 283–287] стало первым документом, где были сформулированы решения по созданию термоядерных зарядов, причём сразу в двух вариантах: РДС-6С (“слойка” – в этой схеме термоядерная “взрывчатка” – дейтерий и уран-238 – помещалась чередующимися концентрическими слоями поверх атомного заряда, который играл роль запала для всей конструкции) и РДС-6Т (“труба” – в такой конструкции энергия от взрыва первичного атомного “запала” зажигала термоядерную реакцию в цилиндре с жидким дейтерием). Речь в постановлении шла о теоретических расчётах, ядерно-физических исследованиях и испытаниях изделия, причём с указанием сроков исполнения и ответственных исполнителей работ.

Через год с небольшим, 3 апреля 1951 г., вышло Заключение комиссии о проделанной работе и плане дальнейших работ по РДС-6Т [3, с. 387–390], подписанное Я.Б. Зельдовичем, Ю.Б. Харитоном, И.Е. Таммом и Л.Д. Ландау, в котором в связи с разработкой РДС-6Т упоминалось имя М.В. Келдыша. Комиссия сообщала о полученных результатах и трудностях реализации схемы “труба” – к тому времени группа Ландау ещё не решила вопрос о возможности детонации дейтерия в цилиндре. Комиссия указала на необходимость гидродинамических расчётов, для чего предлагала усилить расчётно-теоретическую базу в МИАНе, привлечь к работе новую группу математиков во главе с М.В. Келдышем и А.А. Дородницким и включить в её состав физиков-теоретиков.

В Протоколе заседания Совета по вопросам КБ-11 (ВНИИЭФ) от 4 апреля 1951 г. [3, с. 390–391], к которому и готовилось заключение комиссии, отмечалось, что её предложения поддержаны. 10 апреля 1951 г. куратор Атомного проекта А.П. Завенягин, И.В. Курчатов и Н.И. Павлов обратились к Л.П. Берии с письмом [3, с. 392, 393],

в котором был сформулирован проект постановления Совета министров СССР о работе по РДС-6Т. Учёные предложили создать группу под руководством академика М.В. Келдыша и члена-корреспондента АН УССР Д.И. Блохинцева для разработки теории детонации дейтерия, в первую очередь газодинамических процессов. В письме подчёркивалось, что “академик Келдыш М.В. является одним из лучших советских механиков и математиков”. В связи с большим объёмом работ по РДС-6Т предлагалось освободить Мстислава Всеволодовича от других обязанностей в Академии наук, а заместителем назначить крупного специалиста по вопросам газодинамики доктора технических наук А.А. Дородницына, переведя его из ЦАГИ в МИАН.

Часто упоминаемое в исторических исследованиях Постановление Совета министров СССР “О работах по РДС-6Т”, вышедшее 9 мая 1951 г. [3, с. 397–401], затрагивает ряд расчётно-теоретических задач и вопросы по конструированию сверхбомбы. Для нас существенны следующие обстоятельства. Во-первых, постановление предусматривает создать математическую секцию при Научно-техническом совете ПГУ (Первое главное управление при СНК СССР, на которое были возложены вопросы обеспечения Атомного проекта). На секцию, председателем которой становится М.В. Келдыш, возлагается обязанность научного руководства по разработке конструкций, быстродействующих вычислительных машин, а также методов их эксплуатации. Во-вторых, постановление обязывает организовать в МИАНе отдел прикладной математики для расчётно-теоретических работ по РДС-6Т во главе с М.В. Келдышем. В приложении к постановлению был опубликован Сводный план расчётно-теоретических работ по РДС-6Т, первый пункт которого гласил:

“1. Расчёт основной газодинамической задачи о детонации цилиндрического заряда при заданном законе выделения энергии как функции давления и температуры без учёта переноса энергии излучением и быстрыми частицами:

а) проведение качественного анализа установившегося режима распространения взрыва по цилиндрическому заряду;

б) построение численных методов решения газодинамической задачи”.

Исполнителями этих работ названы М.В. Келдыш и А.А. Дородницын из Математического института им. В.А. Стеклова АН СССР.

Даты и общее содержание документов, опубликованных в издании “Атомный проект СССР...”, свидетельствуют о том, что контроль за ходом выполнения работ шёл постоянно. Уже 17 июля 1951 г. на заседании Совета по вопросам КБ-11, в работе которого участвовали М.В. Кел-

дыш и Д.И. Блохинцев [3, с. 410–412], Мстислав Всеволодович сообщил: “Начата разработка методики решения нестационарной задачи, в частности, рассматривается вопрос о методике усреднения основных величин, которая позволила бы перейти от уравнений в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям” [3, с. 410].

В конце декабря 1951 г. вышло Постановление Совета министров СССР “О плане работ КБ-11 на 1952 г.” [4, с. 373–379], которое касалось создания всей линейки изделий РДС. При этом Первому главному управлению, Лаборатории измерительных приборов АН СССР (ныне – НИЦ “Курчатовский институт”) и КБ-11 предлагалось сосредоточить основные силы физиков, математиков и конструкторов на проекте РДС-6С, поскольку работы по нему “продвинулись значительно дальше, нежели по изделию РДС-6Т”. Срок изготовления РДС-6Т откладывался до 1 марта 1953 г.

Комиссии в составе Л.Д. Ландау, Я.Б. Зельдовича, М.В. Келдыша, Д.И. Блохинцева и А.Н. Колмогорова поручалось ознакомиться с теоретическими и расчётными работами по РДС-6С и в январе 1952 г. представить в ПГУ заключение. Обратим внимание, что Келдыш выступает здесь в качестве эксперта. В последующих документах ПГУ (письмах, докладных записках), где утверждались заключение комиссии и планы по усилению групп, работающих над РДС-6С, М.В. Келдышу и Д.И. Блохинцеву предписывалось обязательное выполнение расчётно-теоретических работ по РДС-6Т, несмотря на отложенный срок сдачи этого изделия.

О характере работ Келдыша в то время можно судить по письму Б.Л. Ванникова, А.П. Завенягина, И.В. Курчатова, Ю.Б. Харитона, Н.И. Павлова и А.П. Александрова от 15 апреля 1952 г. [3, с. 473–476], адресованному Л.П. Берии, где предлагался проект постановления Совета министров СССР о работах по РДС-6Т. В приложении был изложен План теоретических и расчётных работ по созданию РДС-6Т, в одном из пунктов которого записано: “Разработка методики и решение системы уравнений газовой динамики и кинетики ядерных реакций с приближенным учётом переноса энергии быстрыми частицами” [там же, с. 478] со сроком выполнения 30 декабря 1952 г. Исполнителями этих работ названы Келдыш и Дородницын.

В Проекте докладной записки А.П. Завенягина и И.В. Курчатова “О результатах проверки состояния работ в КБ-11” от 11 декабря 1952 г. [3, с. 561–563] Д.И. Блохинцеву, Н.Н. Боголюбову, М.В. Келдышу, Я.Б. Зельдовичу, И.Е. Тамму и А.Д. Сахарову поручалось проанализировать расчёты мощности РДС-6С, проведённые в группах

А.Н. Тихонова и Л.Д. Ландау, и представить заключение по методам расчёта и полученным значениям тротилового эквивалента. Здесь М.В. Келдыш, наряду с физиками, выступает как эксперт, что говорит о глубине его погружения в задачи Атомного проекта.

Руководство ПГУ с самого начала понимало необходимость использования ЭВМ для расчётно-теоретических работ по атомной тематике, что документально описано, например, в работе [5]. С 1950 г. в Специальном конструкторском бюро № 245 создавалась ЭВМ “Стрела”. 11 апреля 1952 г. вышло Постановление Совета министров СССР “О размещении выделенных Первому главному управлению при Совете министров СССР быстродействующих вычислительных машин...” [6, с. 422, 423]. “Стрелу”, в частности, планировали “прописать” в здании, которое занимал тогда Физический институт АН СССР. В его помещениях предполагалось разместить и расчётно-математическое бюро, в том числе бюро под руководством М.В. Келдыша.

Здесь уместно вспомнить о проявленном интересе математиков к создаваемой в Киеве коллективом С.А. Лебедева малой электронной счётной машине (МЭСМ). 10–11 мая 1951 г. комиссия под председательством М.В. Келдыша присутствовала на демонстрации её макета, а 25 декабря 1951 г. приняла МЭСМ в эксплуатацию.

Представляется важным для истории использования ЭВМ в Атомном проекте письмо Ю.Б. Харитона, И.Е. Тамма, А.Д. Сахарова и Н.Н. Боголюбова А.П. Завенягину от 17 декабря 1952 г. [3, с. 573, 574]. Оно начинается с утверждения: “В настоящее время расчёты лимитируются тем, что скорость работы существующих математических бюро является недостаточной”. Однако уже имеющиеся электронные машины работали по заданиям ПГУ. Речь шла о двух ЭВМ конструкции С.А. Лебедева (МЭСМ и БЭСМ-1) и машине М-1 конструкции И.С. Брука, эксплуатировавшейся в Энергетическом институте АН СССР. В письме указано, что в ближайшее время должна войти в строй большая машина главка (ПГУ) “Стрела”. И далее отмечено: “Представляется совершенно необходимым принять незамедлительные меры к тому, чтобы, во-первых, использовать существующие возможности ЭВМ для максимального ускорения расчётов, связанных с изделиями, а во-вторых, подготовиться к использованию полной мощности этих машин. В настоящее время нет никакого органа или лица, которому указанный вопрос был бы поручен. Поэтому мы считаем необходимым поручить т. Келдышу М.В. возглавить работу по использованию электронных счётных машин для максимального ускорения расчётов и предоставить ему право распределять задания на всех имеющихся машинах в порядке

их очерёдности” [там же, с. 574]. Несомненно, более подходящей кандидатуры для выполнения этих задач не было. Свою компетентность Мстислав Всеволодович подтвердил работой “Большие счётные математические машины”, написанной в 1952 г. совместно с С.А. Лебедевым [7].

Планы научного руководства ПГУ осуществились, когда 18 апреля 1953 г. по распоряжению Совета министров СССР [6, с. 542–544] было создано Отделение прикладной математики (ОПМ) МИАНа, директором которого стал академик М.В. Келдыш. В 1954 г. в здании ОПМ заработала ЭВМ “Стрела”. В документах ПГУ начала 1953 г. уже прописывается программирование на электронных машинах и, следовательно, расчёты на них.

В Препроводительной записке от 30 января 1953 г. Ю.Б. Харитона Н.И. Павлову к перечню работ, выполняемых институтами Академии наук в интересах КБ-11 [3, с. 601–604], Келдыш назван руководителем работ, проводимых в Математическом институте им. В.А. Стеклова АН СССР по РДС-6Т. Помимо общего руководства, Келдыш и Дородницын стали ответственными исполнителями по п. 3 перечня: “Точный расчёт возникновения детонации в цилиндрическом заряде от итриевого инициатора с учётом передачи энергии квантами и частицами и переменной концентрации реагирующих веществ: а) формулировка уравнений и выбор начальных условий первого варианта расчётов... б) программирование на электронных машинах... в) проведение расчётов” [там же, с. 602, 603].

В Записке “О состоянии и плане работ по РДС-6Т” от 30 января 1953 г. [3, с. 604–609], подписанной Ю.Б. Харитоном и Я.Б. Зельдовичем, объясняется принцип работы РДС-6Т, описывается конструкция изделия и условия, определяющие возможность его создания. Здесь же представлены работы, выполненные, согласно поставленным задачам, с 1951 г., в том числе упоминаются газодинамические расчёты Келдыша и Дородницына. В результате расчётов, отмечается в записке, удалось построить картину детонации, но режим самоподдерживающегося процесса находится на границе существования с возможностью его затухания. Поэтому, говорится далее, особое значение приобретает проверка и уточнение расчётов для выяснения вопроса об устойчивости детонации. Наиболее прямой путь для этого – расчёт эволюции картины движения, то есть нестационарный счёт. Указывается, что в настоящее время нестационарный счёт целесообразно поручить группе К.А. Семдяева под руководством М.В. Келдыша и сделать это можно только на электронных машинах. Но этим поручения Келдышу не ограничились. Для решения задачи об иницировании незатухающей детона-

ционной волны требуется точный расчёт превращения сферической волны в стационарную, распространяющуюся в цилиндрической трубе. Исполнителем названа группа из МИАНа под руководством М.В. Келдыша. Другое поручение Келдышу было связано с разработкой метода расчёта нестационарных двумерных гидродинамических задач. Это один из пунктов Плана расчётно-теоретических работ по изделию РДС-6Т в приложении к Письму А.П. Завенягина и И.В. Курчатова Л.П. Берии от 29 мая 1953 г. [3, с. 654–663].

Вряд ли когда-нибудь представится возможность познакомиться с результатами всех теоретических исследований и проведённых в то время вычислений. Но подлинник одного рассекреченного документа – отчёта ОПМ МИАН 1954 г. “Решение задачи об осесимметричном движении газа с ударной волной” – хранится в архиве Кабинета-музея академика М.В. Келдыша. Он опубликован в 1985 г. в “Избранных трудах” М.В. Келдыша [8]. Именно в этой работе предложена первая методика расчёта нестационарных двумерных задач газовой динамики. Кроме Мстислава Всеволодовича, в авторский коллектив входили И.М. Гельфанд, Н.А. Дмитриев, К.И. Бабенко, О.М. Локуциевский и Н.Н. Ченцов.

Наконец, в Указании А.П. Завенягина М.В. Келдышу о расчётно-теоретических работах по РДС-6Т от 29 мая 1953 г. [3, с. 667–669] перечислены задачи, которые должны были выполнить в 1953–1954 гг. МИАН, КБ-11 и Теплотехническая лаборатория АН СССР. Заключительная фраза письма – “Прошу Вас обеспечить выполнение перечисленных работ в указанные сроки” – характеризует уровень доверия руководства страны Келдышу, его высокий авторитет и компетентность.

Выборка документов из уникального издания “Атомный проект СССР. Документы и материалы” хотя и не претендует на полноту, тем не менее позволяет адекватно представить степень вовлечённости Мстислава Всеволодовича в работу над созданием термоядерного оружия. Он руководил разработкой численных методов при решении задач газовой динамики и математической физики, занимался математическим моделированием таких процессов и явлений, как диффузия, теплопроводность, вязкость, химические реакции. Созданные Келдышем или при его непосредственном участии приёмы и методы решения этих задач были развиты его учениками и коллегами, заложили основы современной вычислительной математики.

Кроме несомненного таланта, аккуратности, принципиальности, как важнейшую черту М.В. Келдыша коллеги называли скорость восприятия им новых идей. Он был “гением понима-

ния”, отмечали они, и все таланты отдал служению Родине.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.В. Келдыш. Творческий портрет по воспоминаниям современников. М.: Наука, 2002.
2. *Андрюшин И.А., Илькаев Р.И., Чернышев А.К.* “Слойка” Сахарова. Путь гения. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.
3. Атомный проект СССР. Документы и материалы. В 3-х томах. Том III. Кн. 1. Водородная бомба. 1945–1956 / Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ; М.: Наука, Физматлит, 2008.
4. Атомный проект СССР. Документы и материалы. В 3-х томах. Том II. Кн. 7. Атомная бомба. 1945–1954 / Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ; М.: Наука, Физматлит, 2007.
5. *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. Т. 1. № 3(29). С. 118–132.
6. Атомный проект СССР. Документы и материалы. В 3-х томах. Том II. Кн. 5. Атомная бомба. 1945–1954 / Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ; М.: Наука, Физматлит, 2005.
7. *Лебедев С.А., Келдыш М.В.* Большие счётные математические машины // Архив РАН. Ф. 1939. Оп. 2. Д. 225. Л. 2, 3.
8. *Келдыш М.В.* Избранные труды. Математика. М.: Наука, 1985.

**А.В. Островский. Китай становится экономической сверхдержавой.
М.: Институт Дальнего Востока РАН, Изд-во МБА, 2020. 496 с.**

© 2021 г. А. И. Салицкий

*Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных отношений
им. Е.М. Примакова РАН, Москва, Россия*

E-mail: sal.55@mail.ru

Поступила в редакцию 10.11.2020 г.

После доработки 17.11.2020 г.

Принята к публикации 28.11.2020 г.

DOI: 10.31857/S0869587321020080

Недавно увидела свет новая работа мэтра отечественной экономической синологии доктора экономических наук Андрея Владимировича Островского. Так получилось, что книга, посвящённая социально-экономическому развитию Китая за последние сорок лет, не просто актуальна — она попадает в самый центр необыкновенно острых дискуссий по поводу хозяйственного будущего человечества, путей выхода из глубочайшего за последние десятилетия кризиса. Рискну заметить, что монография имеет ещё и своего рода терапевтическое значение: после просмотра скачущих биржевых показателей, мрачных прогнозов, мнений возбуждённых политиков приятно погрузиться в неторопливые очерки четырёх десятилетий китайских реформ, проникаясь духом содержащегося в этом движении спокойного расчёта, рассудительного подхода к решению сложнейших проблем и, не побоюсь банальности, исторического оптимизма. Именно такими предстают картины экономической жизни Китая в исполнении А.В. Островского, справедливо усматривающего в успехе преобразований нашего дальневосточного соседа деятельное организующее начало и глубокую проработку теоретических вопросов.

Этому организующему началу посвящена, в частности, первая глава монографии, из которой читатель узнаёт об основах подхода пекинских реформаторов к рыночным преобразованиям, в том числе о знаменитой китайской постепенности. Достаточно упомянуть, что в программных документах КПК переход от так называемой плановой товарной экономики к социалистической рыночной экономике занял более десяти лет (в отличие от шокового сценария, реализованного в

России), завершившись в 1993 г. “По-настоящему переход от плановой к рыночной модели экономики в КНР начался только в 90-е гг. XX века”, — констатирует автор (с. 27). В ходе предшествовавших этому переходу дискуссий в Китае “была не только переосмыслена традиционная теория плановой экономики, но и качественно развиты теоретические положения традиционной теории рыночной экономики” (с. 23).

Вооружившись обширным статистическим материалом, автор монографии вскрывает механизмы воплощения в жизнь поначалу достаточно скромных замыслов и целей, рождавшихся из внимательных наблюдений за хозяйственной действительностью огромной страны, привычек и традиций её населения.

За несколько тяжёлыми официальными формулировками, которые, как показывает А.В. Островский, характеризовали те или иные этапы жизни пореформенного Китая, в конкретной работе экономического аппарата этой страны всегда находилось место понятным всем министрам, например: “держат крупное, отпускают мелкое” — когда речь шла о сохранении планирования на ведущих предприятиях, “государство регулирует рынок, рынок управляет предприятиями” — когда возникал вопрос о роли государства в рыночной экономике, “открытостью укреплять опору на собственные силы, опираясь на собственные силы, расширять открытость”, “импортом пестовать экспорт” — когда рассматривалась проблема места национальной экономики в мировом хозяйстве. В единстве и взаимном обогащении теории и практики виде-

лось будущее, неизменно устойчивое, более благополучное и справедливое.

Добавим, что диалектика соотношения между развитием и реформами понималась и понимается в Китае как соотношение между целью и инструментами её достижения. Цели развития формулировались в среднесрочных и долгосрочных планах, рыночные реформы – при общей тенденции к либерализации экономической деятельности – неизменно, хотя и с убывающей амплитудой, повторяли алгоритм “отпустить–зажать”, то есть предусматривали своевременное обуздание разного рода перегревов рынка, избавление от “пузырей” в хозяйстве, предупреждение чрезмерных финансовых рисков и т.п. Либерализация экономики в современном китайском понимании сводится к устранению устаревших или неэффективных административных ограничений и не означает ухода государства из экономики – ему просто отводится роль “государства развития” с всё менее многочисленными, но всё более мощными средствами воздействия на хозяйственные процессы и в возрастающей мере – роль социального государства. Благоприятное воздействие государства на формирование рыночной среды состояло не только в установлении правил игры, но ещё и в создании общенациональной инфраструктуры, которая буквально на глазах качественно преобразилась в начале нынешнего века, связав на гигантском конкурентном поле десятки миллионов производителей и потребителей.

На многочисленных примерах, полемизируя с дилетантскими представлениями об уходе государства из экономики, автор книги доказывает, что в Китае удалось избежать ложного противопоставления государства и рынка и нащупать правильное соотношение между государством, рынком и монополиями. Ограничивая давление монополий на рынок или используя их мощь в интересах строительства национальной инфраструктуры, государство оставляет и открывает для субъектов рынка достаточно широкое поле деятельности.

Особое внимание в первой главе книги А.В. Островский уделяет управлению финансами в Китае, показывая, как сбережения экономных китайцев трансформировались в промышленную мощь страны и густую сеть коммуникаций. При сравнении с переходными странами подчёркиваются преимущества, которые дал китайский подход в 1990-е годы (с. 91–93). Добавим, что центральный банк страны по закону подчинён правительству и согласует с ним основные параметры денежно-кредитной политики, а функции

надзора и контроля выведены в специальный госкомитет. На наглядном статистическом материале продемонстрирован высокий и возрастающий в нынешнем веке уровень монетизации китайского хозяйства, не приведший благодаря умеренным ставкам процента по кредитам к росту инфляции. Не особенно сказывается на этом показателе и дефицит бюджета.

Во второй главе автор переходит от анализа конструкции китайских реформ к рассмотрению основных составляющих процесса модернизации хозяйства. К ним А.В. Островский справедливо относит индустриализацию и создание энергетической базы страны, научно-технический прогресс, а также региональное развитие или, как раньше говорили, размещение производительных сил. Вновь на переднем плане грандиозной панорамы становления и утверждения современного и ультрасовременного Китая оказывается государство.

В книге предпринята удачная попытка ретроспективного анализа среднесрочных и долгосрочных планов научно-технического развития страны, решения проблемы внедрения научных достижений в производство, массовой подготовки инженеров, техников и квалифицированных рабочих, стимулирования инноваций и организации прорывов на ключевых направлениях технологического прогресса, налаживания плодотворного сотрудничества с зарубежными учебными и научно-исследовательскими центрами. С оттенком восхищения инвентаризируются нынешние достижения страны в новых и высоких технологиях, тематика уже развёрнутых НИОКР, а также амбициозные планы и дорожные карты развития научно-технического потенциала страны, захватывающие далёкие, вплоть до середины века, временные горизонты.

Через яркую мозаику представленных в книге фактов проступает удивительное умение китайцев мыслить длинными отрезками времени и при этом точно рассчитывать сроки выполнения планов, будь то космонавтика, водоснабжение или озеленение полупустынь, питаемое неистощимой смекалкой населения, выверенной аналитикой руководителей мозговых центров.

А.В. Островский убедительно показывает, что становым хребтом модернизации и научно-технического прогресса в Китае считалась, считается и будет считаться промышленность. Именно её развитию в значительной мере подчинена система образования и науки, банковского дела и логистики, именно промышленность создаёт новые рабочие места в смежных отраслях хозяйства,

именно она обеспечивает сельское хозяйство, науку, транспорт и оборону всем необходимым, гарантирует стране благополучное положение в мировой экономике. Свою роль играет и малая сельская промышленность, которая служит важным абсорбентом избыточной рабочей силы в деревне.

Положение о ведущей роли промышленности в модернизации, включая поставленное на поток производство инноваций, особенно дорого автору книги, часто сетующему в своих размышлениях о Китае об утрате российским обществом импульсов к модернизации, зачастую под влиянием поверхностных суждений о том, что модернизация и индустриализация для нашей страны — пройденный и потому ненужный этап эволюции.

Во второй главе также подробно разбираются структурные сдвиги в китайской промышленности в новом веке (с. 224, 225), отмечается опережающий рост высокотехнологичных отраслей и в какой-то мере развенчивается теперь уже не вполне адекватное представление о дешевизне рабочей силы в Поднебесной. Здесь же подробно рассматриваются проблемы энергообеспечения китайского хозяйства в новом веке с полезным экскурсом в историю выявления запасов, производства и потребления энергоресурсов в этой стране с конца 1950-х годов. Показано, в частности, что собственных ресурсов углеводородов стране уже давно не хватает вследствие динамичной индустриализации, урбанизации и автомобилизации. Обозревается китайская политика в сфере использования мировых энергоресурсов, их импорта и добычи за рубежом. С особым вниманием проанализированы достижения КНР в области экономии энергии, вывода из эксплуатации устаревших мощностей в угледобыче и использования возобновляемых энергоресурсов.

Рассматривая развитие регионов Китая и рост неравномерности их благосостояния в первые 20 лет рыночных преобразований, А.В. Островский отмечает, что данная проблема всерьез привлекла внимание китайского руководства лишь на XVI съезде КПК в 2002 г. Тогда, в частности, была принята стратегия координированного развития территорий, предусматривавшая меры ускорения роста экономики центральных провинций и западных районов страны (с. 280). Сократить разрыв в уровне развития с зажиточными приморскими регионами с тех пор не особенно удалось, но повсеместный рост достатка и необычайно возросшая мобильность населения благодаря созданию общенациональной инфраструктуры несколько смягчили проблему. Со временем из-за удорожания труда и роста арендной платы в при-

брежном Китае во внутренние районы страны потянулись предприятия экспортного сектора, а также зарубежные промышленники. С точки зрения динамики развития в наихудшем положении за последние 20 лет оказались северо-восточные провинции КНР, впрочем, тоже не стоящие на месте. Автор делает несколько преждевременный вывод, что разрыв в уровне экономического развития между регионами постепенно сокращается (с. 306).

В третьей главе А.В. Островский привлекает внимание читателей к внешнеэкономическим аспектам китайских реформ. Вновь отмечается постепенность перехода от излишне централизованной и лишённой гибкости организации экономики к системе, сочетающей эксперименты, план и рынок, стимулирующей всё более массовые контакты производителей с внешним рынком, а также энергичный поиск экспортных ресурсов и возможностей замещения импорта. Хорошо описана история взаимодействия с зарубежными предпринимателями-инвесторами, в которой от первоначальных разочарований до получения взаимовыгодных результатов прошло немалое время. По достоинству оценена цепкая и упорная переговорная практика Китая, шла ли речь о получении технологий от отдельных компаний или о вступлении в ВТО, растянувшаяся на 15 лет и оказавшаяся исключительно результативным с точки зрения расширения внешних рынков сбыта в первом десятилетии нынешнего века (с. 315).

Можно сказать, что от приспособления к мировой экономике, занявшего первые 20 лет китайских реформ, страна на рубеже столетий перешла к активному освоению этого пространства, превратившись из объекта глобализации в её деятельного и активного субъекта. Именно в этот период стартовал курс “идти за рубеж”, суть которого — целенаправленное формирование китайских аналогов ТНК, способных на равных конкурировать с мировыми гигантами на внутреннем и внешнем рынке. В книге А.В. Островского представлена детальная экспозиция довольно сложных переплетений в движении предпринимательского капитала в Китай и из Китая в новом веке, в которой опять-таки хорошо просматривается направляющая и регулирующая роль государства. Тщательно инвентаризирована и китайская Инициатива пояса и пути, ставшая в 2013 г. продолжением и теперь уже институционально обеспеченным уточнением курса “идти за рубеж”. В частности, на основе китайских источников представлена географическая диспозиция опорных городов и пунктов инициативы,

разбросанных по Китаю и евразийским просторам (с. 395–404).

В связи с этим вспоминается один из программных документов китайских реформаторов, увидевший свет в 1984 г. Тогда в рамках политики открытости была поставлена задача с помощью международных экономических связей укреплять хозяйственные связи регионов страны. В то время это казалось не очень реалистичным: шла очевидная концентрация внешнеэкономической активности в немногочисленных свободных экономических зонах (СЭЗ) и приморских городах. В дальнейшем, вплоть до финансового кризиса 2008–2009 гг., эти анклавов всё плотнее привязывались к мировой экономике. Теперь же давнишняя стратегическая цель, похоже, начинает реа-

лизываться: регионы Китая гораздо теснее взаимодействуют друг с другом, СЭЗ и приморские города разворачиваются в сторону внутреннего рынка, и за последние 13 лет отношение экспорта Китая к его ВВП снизилось с 36 до 17%, а доля иностранных инвестиций в ВВП сократилась втрое – до 1%. Иными словами, перед нами действительно экономическая сверхдержава, которая оказывает на мир всё большее воздействие и при этом всё меньше от него зависит.

Заключая, можно сказать, что за последние 40 лет КНР написала своего рода учебник по политической экономии развития, и, говоря словами автора рецензируемой книги, обобщённый в этом “учебнике” опыт нельзя игнорировать.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ОТДЕЛ

**БОЛЬШАЯ ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА 2020 ГОДА**

DOI: 10.31857/S0869587321020134

Президиум РАН присудил Большую золотую медаль имени М.В. Ломоносова Российской академии наук 2020 г. академику РАН Сергею Петровичу Новикову за ведущую роль в возрождении современной топологии в нашей стране, решение фундаментальных проблем топологии, теории

нелинейных волн, квантовой механики и теории поля и иностранному члену РАН, профессору Джону Уилларду Милнору за открытие нестандартных гладких структур на многомерных сферах, решение фундаментальных проблем топологии и теории динамических систем.

АКАДЕМИК РАН СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ НОВИКОВ



Академик РАН Сергей Петрович **НОВИКОВ** — широко признанный в мире учёный-математик. Работы, выполненные им ещё в студенческие годы, сразу же поставили его в ряд ведущих алгебраических топологов. Им были открыты фундаментальные свойства когомологий алгебр Хопфа, объекта, не только важного для топологии, но и, как оказалось впоследствии, центрального для теории квантовых групп.

Результат по качественной топологической теории слоений выдвинул С.П. Новикова на ведущее место и в этой области исследований. Ему также принадлежат выдающиеся результаты в области периодических задач теории солитонов, открытие связи римановой геометрии и систем гидродинамического типа. В настоящее время акаде-

мик С.П. Новиков активно развивает теорию дискретных систем и дискретный комплексный анализ на основе взаимодействия фундаментальных идей математики и физики.

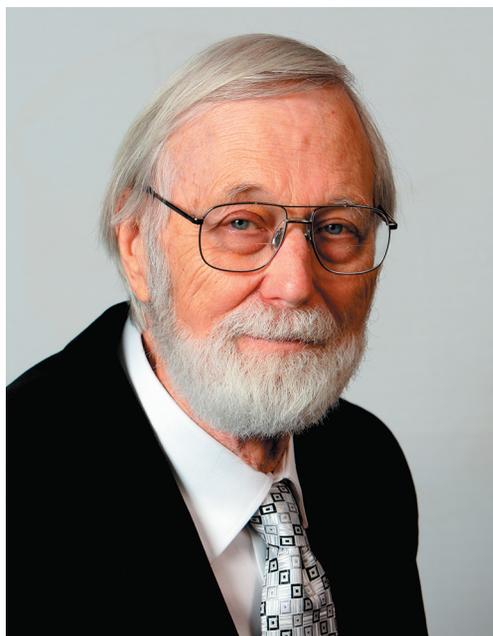
С.П. Новиков — создатель и признанный глава обширной научной школы, известной своими достижениями и в стране, и за рубежом. В числе представителей этой школы члены-корреспонденты РАН, десятки профессоров, докторов и кандидатов наук. На протяжении многих лет он возглавляет кафедру геометрии и топологии механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и одноимённый отдел в Математическом институте им. В.А. Стеклова РАН.

Вклад лауреата в создание программ образования на механико-математическом факультете МГУ, многолетняя работа на посту президента Московского математического общества, деятельность как главного редактора журнала “Успехи математических наук” и одного из основателей и члена Научного совета Независимого Московского университета оказали большое влияние на математическую жизнь в России.

Научные достижения С.П. Новикова отмечены Ленинской премией, Филдсовской премией и медалью Международного математического союза, премией им. Н.И. Лобачевского АН СССР, премией Вольфа, премией Московского математического общества.

С.П. Новиков избран членом ряда зарубежных академий и обществ, среди которых Лондонское математическое общество, Академия наук и искусств Сербии, Итальянская национальная академия “Accademia dei Lincei”, Европейская академия, Национальная академия наук США, Папская академия наук Ватикана, он почётный доктор ряда зарубежных университетов.

ПРОФЕССОР ДЖОН УИЛЛАРД МИЛНОР (США)



Профессор Джон Уиллард МИЛНОР (США) – известный американский учёный-математик – работает в Институте перспективных исследований в Принстоне и в Университете Стоуни-Брук

(Нью-Йорк, США). Он член Национальной академии наук США и иностранный член РАН.

Дж. Милнор открыл нестандартные гладкие структуры на многомерных сферах. Этот результат оказался принципиально важным для развития топологии и её приложений. Дж. Милнором решены фундаментальные проблемы топологии и теории динамических систем, ряд математических понятий и теорем носит его имя.

Дж. Милнор – лауреат Филдсовской премии, премии Вольфа по математике, Абелевской премии и двух премий Стила. Он награждён национальной научной медалью США – государственной наградой за выдающиеся научные результаты, которая вручается Президентом США.

Дж. Милнор – выдающийся педагог, автор многих учебников. На русский язык переведены его книги “Теория Морса”, “Лекции по h -кобордизмам”, “Топология с дифференциальной точки зрения”, “Особые точки комплексных гиперповерхностей”, “Введение в алгебраическую K -теорию”, “Симметрические билинейные формы”, “Характеристические классы”, “Голоморфная динамика”. Эти книги оказали большое влияние на развитие разных областей математики в нашей стране.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ОТДЕЛ

МЕЖДУНАРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПРЕМИЯ
“ГЛОБАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ” 2020 ГОДА

Лауреатами премии “Глобальная энергия” 2020 года стали исследователи Карло Руббиа (Италия) за содействие развитию устойчивой энергетики в контексте утилизации ядерных отходов и пиролиза природного газа, Пэйдун Ян (США) за изобретение солнечных панелей на основе наночастиц и разработки в сфере искусственного фотосинтеза и Николаос Хатциаргириу (Греция) за вклад в стабилизацию работы электросетей, разработку умных электросетей и микросетей с использованием искусственного интеллекта.

DOI: 10.31857/S0869587321020146



Карло Руббиа – профессор Научного института Гран Сассо, бывший генеральный директор организации ЦЕРН, пожизненный сенатор Италии. Внёс весомый вклад в разработку революционных решений для обеспечения устойчивости энергетической системы, предложил новый подход к ликвидации ядерных радиоактивных отходов и в области ядерного синтеза. В 1970 г. он был назначен профессором физики в Гарвардском университете и вместе с Дэвидом Клайном и Альфредом Манном стал инициатором крупного нейтринного эксперимента в Национальной ускорительной лаборатории Ферми (Фермилаб), который позволил наблюдать все мюонные события в нейтринных взаимодействиях, что подразумевало существование с-кварка. Руббиа совмещал преподавание в Гарварде с исследованиями в ЦЕРНе в Женеве. В 1976 г. вместе с

Дэвидом Клайном и Питером Макинтайром он предложил адаптировать ускоритель в ЦЕРНе для столкновения протонов и антипротонов в поиске промежуточных векторных бозонов. Эксперимент начался в 1981 г., а в январе 1983 г. команде удалось уловить W-частицы, за которыми через пару месяцев последовали ещё более неуловимые Z-частицы. В 1984 г. Руббиа и Саймон ван дер Меер были удостоены Нобелевской премии по физике.

Карло Руббиа предложил новые решения для солнечно-тепловых технологий в рамках проекта, который может значительно снизить их стоимость за счёт использования коллекторов Френеля и расплавленных солей в качестве охлаждающей жидкости. Он также начал разрабатывать ключевую технологию устойчивого использования ископаемого топлива, решительно поддерживая и продвигая пиролиз природного газа как средство включения углеводородов в циклическую экономику, тем самым ускоряя переход к декарбонизированной экономике.



Пэйдун Ян – директор Института энергетической нанонауки им. Кавли (ENSI), профессор Калифорнийского университета в Беркли. Группа Яна внесла значительный вклад в фотоэлектрическую область, впервые осуществив идею нанопроволочного солнечного элемента и значительно улучшив транспорт заряда. Его группа представила несколько новых версий дизайна нанопроволочных солнечных элементов, в том числе: нанопроволочный солнечный элемент с красящим сердечником; нанопроволочные солнечные элементы с сердечником и их массивы с сильным эффектом

светоловушки. В начале 2013 г. группа профессора Яна предложила первую полностью интегрированную наносистему для прямого солнечного расщепления воды. В 2015 г. Ян и его команда создали синтетический “лист”, представляющий собой гибридную систему полупроводниковых нанопроволок и бактерий *S. ovata*. Нанопровода собирают солнечный свет, а бактерии используют углекислый газ и воду для завершения фотосинтетического процесса и получения целевого химического вещества на основе углерода, такого как бутанол. Впервые была собрана полностью интегрированная система для производства дополнительных химических веществ непосредственно и исключительно из CO₂, H₂O и солнечного света, и это считается одним из прорывов в области искусственного фотосинтеза.



Николаос Хатциаргириу – директор, действительный профессор Национального технического университета Афин (НТУА). С 1984 г. он работает в отделе энергетики кафедры электротехники и вычислительной техники НТУА, а с 1995 г. является профессором кафедры энергосистем. Он был одним из пионеров концепций микро-

сетей и смартсетей в Европе, предложил инструменты моделирования для динамического анализа островных микросетей и усовершенствовал методы централизованного и децентрализованного управления ими, основанные на технологии интеллектуальных агентов, обеспечивающих возможность корректной работы распределённых энергетических

ресурсов “подключи и работай” с ограниченной связью. Его новаторским вкладом стала эксплуатация первой в Европе микросети, работающей на 100% от фотоэлектрических и аккумуляторных батарей на острове Китнос, которая использует децентрализованную систему на основе мультиагентов для эффективного управления нагрузкой.

Профессор Хатциаргириу оказался одним из пионеров и в области применения методов искусственного интеллекта в энергетических системах. Он использовал дерево принятия решений, нейронные сети и нечёткие кластеры для устойчивой и динамической оценки безопасности энергетических систем, применил новые идеи к контролю активной и реактивной мощностей. Его самым важным вкладом – разработка инструментов для динамической оценки безопасности энергосистем.