

СОДЕРЖАНИЕ

Том 87, номер 7, 2017

Наука и общество

А.А. Акаев

От Рио до Парижа: достижения, проблемы и перспективы в борьбе с изменением климата 587

С кафедры Президиума РАН

*Е.А. Пономаренко, Е.В. Поверенная, Е.В. Ильгисонис, А.Т. Копылов,
В.Г. Згода, А.В. Лисица, А.И. Арчаков*

Перспективы исследования протеома человека 599

Организация исследовательской деятельности

В.И. Перхов, Д.С. Янкевич

Планирование фундаментальных научных исследований в области медицины 605

Обозрение

Д.И. Кондратов

Современная мировая валютная система и перспективы её трансформации 613

Н.А. Макаров, О.В. Зеленцова, Д.С. Коробов, А.Н. Ворошилов

Пространство древности: археологические памятники на карте России 622

Точка зрения

В.А. Большаков

О некорректном определении понятия “теория Миланковича” и его влиянии на развитие орбитальной теории палеоклимата 635

В.Г. Шамаев, А.Б. Горшков

Навигация по русскоязычным источникам научной информации 650

Проблемы экологии

К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко

Природоподобные горные технологии – перспектива разрешения глобальных противоречий при освоении минеральных ресурсов литосферы 655

Этюды об учёных

Т.А. Курсанова

Основоположник отечественной микробиологии. К 150-летию со дня рождения академика Г.А. Надсона 663

Официальный отдел

Президиум РАН решил. – Юбилей 670

CONTENTS

Vol. 87, No. 7, 2017

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

Science and Society

A. A. Akayev

- From Rio to Paris: Achievements, Problems and Prospects in Combating Climate Change 587
-

On the Rostrum of the RAS Presidium

*E. A. Ponomarenko, E. V. Poverennaya, V. E. Il'gisonis, A. T. Kopylov, V. G. Zgoda,
A. V. Lisitsa, A. I. Archakov*

- Prospects for the Study of the Human Proteomics 599
-

Organization of Research

V. I. Perkhov, D. S. Yankevich

- Fundamental Scientific Research Planning in the Field of Medicine 605
-

Review

D. I. Kondratov

- The Modern World Monetary System and its Transformation Prospects 613

N. A. Makarov, O. V. Zelentsova, D. S. Korobov, A. N. Voroshilov

- Space of Antiquity: Archaeological Sites on the Map of Russia 622
-

Point of View

V. A. Bol'shakov

- On Incorrect Definition of "The Milankovitch Theory" and the Orbital Theory of Paleoclimate Development 635

V. G. Shamaev, A. B. Gorshkov

- Navigation on the Russian Sources of Scientific Information 650
-

Problems of Ecology

K. N. Trubetskoy, Yu. P. Galchenko

- Nature-Friendly Mining Technologies as a Condition of the Global Contradictions in the Development of Mineral Resources of the Lithosphere Reservoir 655
-

Profiles

T. A. Kursanova

- The Founder of Russian Microbiology. *To the 150th Anniversary of the Birth of Academician G. A. Nadson* 663
-

Official Section

- Decisions of the RAS Presidium. Anniversaries 670
-

НАУКА
И ОБЩЕСТВО

ОТ РИО ДО ПАРИЖА: ДОСТИЖЕНИЯ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ В БОРЬБЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

© 2017 г. А.А. Акаев

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

e-mail: askarakaev@mail.ru

Поступила в редакцию 29.12.2016 г.

Информационным поводом к написанию настоящей статьи явился своего рода юбилей: 25 лет назад, в 1992 г., на конференции в Рио-де-Жанейро была принята Рамочная конвенция ООН по изменению климата. Это событие стало первым в череде последовавших затем конференций и документов, направленных прежде всего на ограничение выбросов углекислого газа в атмосферу с целью противодействия глобальному потеплению. Автор — деятельный сторонник концепции антропогенного воздействия на климат как ведущего фактора климатических изменений. Он акцентирует позитивный потенциал международных соглашений в этой области, новой энергоэкологической парадигмы, которая предполагает развитие низкоуглеродной энергетики, переход к возобновляемым источникам энергии и “зелёной” экономике.

Ключевые слова: глобальное потепление, Рамочная конвенция ООН по изменению климата (РКИК ООН), лимит повышения приземной температуры, выбросы парниковых газов в атмосферу, декарбонизация энергетики и экономики, тенденция к развитию низкоуглеродной энергетики, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), новая парадигма энергопотребления, экономический рост, Парижское климатическое соглашение.

DOI: 10.7868/S0869587317070015

Ровно 25 лет назад главы государств и правительств, участвовавшие в Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (Бразилия, 1992 г.), приняли Рамочную конвенцию ООН по изменению климата (РКИК ООН), которая предусматривала значительное сокращение выбросов в атмосферу парниковых газов, в первую очередь углекислого газа (CO₂), образующихся при сжигании ископаемых углеводородных органических топлив (угля, нефти, газа). Это стало историческим решением, поскольку впервые

большинство руководителей государств и правительств признали необходимость изменения хозяйственной деятельности человечества, предполагающего самоограничение.

Вслед за этим в 1997 г. был принят Киотский протокол (Киото, Япония), в котором конкретизировались условия сокращения выбросов CO₂ для всех стран без исключения. Срок его действия ограничили 2012 г. Показатели были спущены сверху — со стороны ООН. Принять документ, призванный сменить Киотский протокол, планировалось в 2009 г. в Копенгагене (Дания), однако тогда переговоры по достижению соглашения провалились из-за взаимных претензий развитых и развивающихся стран. Разработка и согласование приемлемого для большинства стран документа заняли шесть лет, и на 18-й конференции РКИК ООН, проходившей в Дохе (Катар) в 2012 г., срок действия Киотского протокола был продлён до 2020 г.

Наконец, в декабре 2015 г. в Париже, на 21-й конференции (COP 21) стран-участниц РКИК ООН почти единогласно было принято новое



АКАЕВ Аскар Акаевич — иностранный член РАН, доктор технических наук, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова.

климатическое соглашение. Не прошло и года, как 4 ноября 2016 г. оно фактически вступило в силу, поскольку к этому времени его ратифицировали 111 государств (57% из числа подписавших соглашение), на которые приходится 77% глобальных выбросов CO₂. Однако официально Парижское соглашение начнёт действовать после 2020 г., когда оно заменит Киотский протокол.

На 22-й конференции ООН по смягчению последствий климатических изменений и снижению антропогенного воздействия на климат (COP 22) в Марракеше (Марокко, ноябрь 2016 г.) была принята дорожная карта по разработке правил реализации Парижского соглашения, рассчитанная на два года вместо четырёх лет, как планировалось первоначально. По итогам конференции в Марракеше почти 200 стран единодушно приняли совместную декларацию, в которой вновь подтвердили приверженность Парижскому соглашению и готовность выполнить свои обязательства по сокращению выбросов парниковых газов.

Таким образом, целенаправленная деятельность ООН и многих стран на протяжении последних 25 лет вылилась в новую энергоэкологическую парадигму, которая предполагает декарбонизацию экономики; необратимое развитие низкоуглеродной энергетики; повсеместный и ускоренный переход на возобновляемые источники энергии (ВИЭ); распространение “зелёной” экономики.

ПАРИЖСКОЕ КЛИМАТИЧЕСКОЕ СОГЛАШЕНИЕ, ЕГО СОДЕРЖАНИЕ И ЗНАЧЕНИЕ

12 декабря 2015 г. в Париже по итогам 21-й Конференции ООН по вопросам климата в соответствии с РКИК ООН (COP 21) было принято климатическое соглашение [1], которое сразу же стали называть историческим. Действительно, масштабы всемирной поддержки Парижского соглашения и взвешенный подход к борьбе с глобальным потеплением, а также глобальный план действий по адаптации к климатическим изменениям, получивший название “Рамочная конвенция об изменении климата”, оказались весьма впечатляющими. Впервые климатическое соглашение было принято практически единогласно, его подписали 195 из 198 стран — участниц конференции. Более того, в рамках этого соглашения страны-участницы не только подтвердили установленный ранее в рамках РКИК ООН лимит потепления в 2°C по отношению к уровню среднемировой приземной температуры + 14°C в доиндустриальную эпоху (до 1850 г.), но и поставили более амбициозную цель — удержать рост среднемировой температуры до конца XXI в. в пределах 1,5°C [1]. Важно, что

уже в ходе подготовки к конференции 186 стран из числа подписавших Парижское соглашение, суммарные выбросы которых составляют свыше 90% общемирового уровня, добровольно разработали и представили долгосрочные национальные стратегии по сокращению выбросов парниковых газов вплоть до 2030 г., а некоторые — даже до 2050 г.

Взвешенный гибкий подход, заложенный в основу Парижского соглашения, заключается в том, что страны всего мира должны самостоятельно подготовить долгосрочные стратегии “низкоуглеродного” развития с указанием посильных целевых ориентиров по сокращению выбросов парниковых газов, а также планы адаптации к изменениям климата и меры по их реализации [1]. В этом отличие Парижского соглашения от Киотского протокола, в котором содержались директивные показатели, определённые ООН.

Национальные планы, в отличие от самого текста соглашения, не имеют юридически обязательного характера. Однако соглашение рекомендует всем странам-участницам регулярно, каждые пять лет, пересматривать национальные планы по мере их исполнения в сторону постепенного повышения планки целевых обязательств. Отчётность сводится к тому, что страны постоянно сообщают об уровне своих выбросов и их снижении, а мониторинг ведётся в глобальных масштабах. Бедные страны, а также страны, наиболее уязвимые в отношении климатических изменений, после 2020 г. могут рассчитывать на финансовую помощь Зелёного климатического фонда, созданного развитыми государствами ещё в 2009 г. на Конференции ООН по изменению климата в Копенгагене. Тогда же была поставлена цель собрать в этот фонд к 2020 г. 100 млрд. долл., однако к настоящему времени в фонд поступило всего лишь 10 млрд. долл. Обнадёживает то, что развитые страны, а также Китай и Сингапур обязались в Париже начиная с 2020 г. ежегодно предоставлять 100 млрд. долл. бедным и наиболее уязвимым странам, чтобы помочь им адаптироваться к изменениям климата и развивать “зелёную” экономику.

Итак, в Парижском соглашении отсутствуют конкретные, юридически обязательные, выраженные в цифрах планы стран-участниц по сокращению выбросов парниковых газов. В нём обозначены лишь две исключительно важные для человечества цифры, означающие лимиты глобального потепления на конец XXI столетия: подтверждение ранее установленного лимита в 2°C по отношению к уровню среднемировой температуры + 14°C в доиндустриальную эпоху и призыв ко всем странам принять дополнительные усилия для достижения более амбициозной цели — лимита в 1,5°C [1]. Юридически обязательными являются лишь отдельные процедурные элементы соглашения,

в частности требование разработки как национальных, так и глобальной долгосрочных стратегий по радикальному совокупному сокращению выбросов парниковых газов.

Парижское соглашение предусматривает проведение в 2018 г. мониторинга и анализа ситуации в связи с выбросами по выполнению взятых в Париже добровольных обязательств с последующим мониторингом через каждые пять лет. К сожалению, отсутствие чётких формулировок относительно вложений развитых стран в Зелёный климатический фонд позволяет странам-донорам уклоняться от выполнения своих финансовых обязательств, хотя в соглашении акцентируется особая роль развитых государств, которые своим примером должны мотивировать остальные страны. Таким образом, Парижское климатическое соглашение — скорее политический документ, нежели правовой или экономический.

Однако, несмотря на отсутствие юридически обязательных показателей по сокращению выбросов CO₂ для каждой страны, Парижское соглашение вызвало огромный резонанс в мире и уже начало оказывать влияние на множество решений на самых разных уровнях в области энергетики, которая является одним из основных источников парниковых газов и играет ключевую роль в борьбе с изменением климата. Можно утверждать, что Парижское соглашение дало мощный импульс процессу декарбонизации энергетики. Эксперты во всём мире подчёркивают, что Парижское климатическое соглашение стало самым важным всеобъемлющим документом в борьбе против глобального потепления со времени принятия Киотского протокола в 1997 г. Последний, как признаётся, сыграл весомую роль, изменив в лучшую сторону отношение многих стран к проблеме сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу. Поскольку страны, подписавшие Киотский протокол, из-за отсутствия чётких критериев ещё долгие годы после его подписания спорили, вступил ли он в силу или нет, то в Париже было принято, что климатическое соглашение вступит в силу после его подписания и ратификации не менее чем 55% стран-участниц, на которые приходится не менее 55% выбросов парниковых газов в мире. Предполагалось, что это произойдёт до 2020 г., когда закончится действие Киотского протокола. Но сложилась необычайно благоприятная ситуация, и Парижское соглашение фактически вступило в силу уже к началу следующей климатической конференции в Марракеше (COP 22, 7–18 ноября 2016 г.). Это явилось свидетельством необратимого изменения парадигмы энергообеспечения, наступления эпохи энергоэкологического развития.

Главное, что следует отметить: все страны-участницы конференции в Париже были едины во мнении, что потепление климата вызвано антропогенными выбросами парниковых газов. Уже ни у кого не осталось сомнений в том, что происходящие климатические изменения, если не принять решительных мер в ближайшие десятилетия, приведут к негативным последствиям, которые нанесут непоправимый урон как человечеству, так и живой природе. Участники конференции в Париже, в особенности представители наиболее уязвимых в этом отношении стран, приводили конкретные факты многочисленных негативных последствий, которые уже сегодня ощущаются по всему миру. Страны-участницы опирались на научно обоснованные выводы Межправительственной комиссии ООН по изменению климата (IPCC), созданной ещё в 1988 г. из числа видных специалистов климатологов и экологов, которая сегодня является ведущим экспертным центром в области климатических изменений и их последствий. IPCC не проводит собственных исследований, но её специалисты, признанные мировые авторитеты в своей научной области, изучают, оценивают и обобщают результаты опубликованных во всём мире научных работ и на этой основе создают сценарии климатических изменений и их последствий [2].

На сессии IPCC, состоявшейся 23–26 сентября 2015 г. в Стокгольме, в которой приняли участие официальные представители 200 стран, был сформулирован однозначный вывод: рост глобальной температуры, отмеченный во второй половине прошедшего столетия, на 95% обусловлен антропогенным наращиванием содержания углекислого газа в атмосфере Земли [2]. Причём средняя приземная температура, составляющая сегодня +15°C, увеличилась с конца XIX в. на 0,8°, из которых 0,6°C приходится на последние 30 лет, что свидетельствует об ускоренном потеплении климата. Действительно, период с 2000 по 2010 г. стал самым тёплым десятилетием с начала надёжных температурных измерений, 2015 г. — самым тёплым годом, а июль 2016 г. — самым жарким месяцем за всю историю метеорологических наблюдений с 1880 г. [2].

Парижская конференция и предшествовавшие ей подготовительные мероприятия показали, что наблюдается усиление низкоуглеродной активности на самых разных уровнях, прежде всего на уровне предприятий. Всё больше компаний осознаёт, что движение в сторону низкоуглеродной и даже безуглеродной энергетики становится необратимым, поэтому они постепенно встают на путь декарбонизации источников энергии. Далее следует уровень городов, которые обладают значительными возможностями для претворения в жизнь стратегии по сокращению выбросов зданиями, транспортом и промышленностью. Существенный

вклад в общее дело вносят многочисленные движения, которые, оказывая общественное давление, способствуют принятию решений в пользу “зелёных”, а также успешно продвигают собственные инициативы.

Сегодня можно смело утверждать, что уже сложился глобальный необратимый тренд на преимущественное развитие безуглеродной энергетики, основанной на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Ярким свидетельством, подтверждающим этот тренд, стал стремительный рост по всему миру как инвестиций в ВИЭ, так и объёмов вырабатываемой за счёт таких источников энергии [3]. Помимо прочего этому способствует значительное удешевление стоимости доступа к ВИЭ, которое произошло в последнее время. На Парижской конференции было представлено множество амбициозных программ в области создания инновационных ВИЭ, многие из которых реализуются уже сегодня. В период работы Парижской конференции международные финансовые организации подписали соглашение о льготном кредитовании низкоуглеродных и безуглеродных энергетических проектов, включая проекты, основанные на ВИЭ.

Важно отметить, что одной из главных тем, обсуждавшихся на конференции в Париже, стало замораживание угольных проектов. В результате многие международные и национальные банки и финансовые организации приняли решение о прекращении угольных инвестиций. Благодаря этим действиям после Парижа наметилась тенденция к сокращению потребления угля и набирает темпы переход к низкоуглеродной энергетике (уголь остаётся самым дешёвым и доступным ископаемым топливом — главным конкурентом ВИЭ).

Отрадно, что большинство государств осознали пагубные последствия потепления климата, стали убеждёнными приверженцами низкоуглеродной энергетики. Это относится прежде всего к Китаю и США, ответственным почти за 44% глобальных выбросов парниковых газов (25% и 19% соответственно). Кроме того, Китай и США сжигают 60% потребляемого в мире угля, который является самым грязным топливом с точки зрения выбросов CO_2 и других крайне вредных веществ. Так, в 2010 г. Китай выбрасывал в атмосферу свыше 8 млрд. т CO_2 , а США 6 млрд. т при общем объёме выбросов 35 млрд. т. Ключевую роль во всемирной поддержке Парижского соглашения сыграл тот факт, что перед конференцией Китай и США, два крупнейших эмитента парниковых газов, договорились о снятии взаимных претензий в переговорах по климату, что затруднило положение тех стран, которые хотели сорвать подписание Парижского соглашения [4].

Более того, в сентябре 2015 г. почти одновременно Китай и США опубликовали амбициозные

программы декарбонизации своих экономик. США объявили о снижении выбросов на 26% к 2025 г. и на 32% к 2030 г. [4], Китай определил три основные цели своей национальной программы на период до 2030 г. (относительно уровня 2005 г.):

- увеличить долю ВИЭ в потреблении первичных энергоресурсов до 20%;
- снизить объём выбросов CO_2 на единицу ВВП на 60–65%;
- увеличить лесной фонд на 4,5 млрд. м^3 [5].

В 2014 г. Китай впервые сократил потребление угля. Благодаря начавшемуся целенаправленному уменьшению потребления угля в КНР и США объём выбросов CO_2 в 2015 г. снизился на 1,5% и 2% соответственно [3]. Вдобавок перед началом работы саммита G20 в сентябре 2016 г. в Китае обе эти страны совместно объявили о ратификации Парижского соглашения. Их пример, несомненно, оказал вдохновляющее воздействие на остальные страны.

Следует также отметить неизменную лидирующую роль Евросоюза, выбросы которого составляют 12% общемировых (в 2010 г. — 4,2 млрд. т CO_2), в борьбе с глобальным потеплением. В конце 1990-х годов страны Евросоюза обязались сократить выбросы CO_2 к 2020 г. на 20% по сравнению с уровнем 1990 г. — до 3,4 млрд. т. Поскольку эта цель была достигнута уже к 2015 г., сегодня Евросоюз стремится уменьшить выбросы к 2020 г. на 25% и прилагает усилия, чтобы добиться выполнения ещё более амбициозной задачи — снижения к 2030 г. выбросов на 40% [4]. Евросоюз, кроме того, твёрдо намерен довести долю первичной энергии, получаемой на основе ВИЭ, до 20%, как и планировалось 20 лет назад.

В начале октября 2016 г. по решению Европарламента государства Евросоюза провели коллективную ратификацию Парижского соглашения. В течение более чем 20 лет эти страны накапливали бесценный опыт в области разработки и использования инновационных технологий генерации электричества на основе ВИЭ, реализуя последовательную политику в борьбе с потеплением климата. Генерация электричества на основе ВИЭ всё это время субсидировалась государствами ЕС, и в конце концов произошёл прорыв: стоимость производства электричества на основе ВИЭ упала в разы и уже сравнялась со стоимостью традиционных технологий генерации с использованием ископаемого органического топлива, а самое главное — она продолжает неуклонно снижаться [6].

Опыт Евросоюза опровергает существующие опасения, будто борьба с потеплением может негативно повлиять на темпы экономического роста. С 1990-х годов в ЕС выбросы сократились на 23%,

тогда как в течение того же периода совокупный ВВП Евросоюза вырос на 46%. За этот период в ЕС были разработаны инновационные технологии генерации электричества на основе ВИЭ, созданы условия для обеспечения их конкурентных преимуществ, построены тысячи новых предприятий для их производства, а значит, появились и новые рабочие места. Благодаря этому в последние годы заговорили о наступлении третьей промышленной революции [7]. Многие страны в инициативном порядке осваивают “зелёные” технологии, стремясь уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и смягчить последствия глобальных изменений климата, обусловленных антропогенным фактором.

Парижское климатическое соглашение, безусловно, стало определяющим рубежом в долгой борьбе с потеплением климата, которая началась четверть века назад в Рио-де-Жанейро. Главное состоит в том, что после Парижа произошёл перелом в отношении к противостоянию потеплению климата. Человечество осознало, что изменение климата — это не только экологический, но и экономический вызов с весьма серьёзными последствиями с точки зрения глобальной безопасности. Ведь из-за изменения климата дорожают жизненно важные ресурсы, прежде всего вода и продовольствие, что нередко приводит к международным конфликтам, в том числе военным. Стало очевидным, что без активной работы по снижению выбросов парниковых газов дальнейший рост температуры приземной атмосферы неизбежен и что это чревато катастрофическими угрозами, причём цена бездействия многократно превысит цену безотлагательных усилий.

Уже в конце января 2016 г., всего через полтора месяца после Парижской конференции, подводя итоги Всемирного экономического форума в Давосе, его эксперты утверждали: главный фактор глобальной безопасности на ближайшее десятилетие — это изменение климата [8]. Таким образом, экологическая нестабильность впервые была признана важнейшей угрозой поступательному развитию цивилизации. Риски применения оружия массового поражения, кризисы водообеспечения и масштабной вынужденной миграции отходят на второй план. Однако, как отмечают эксперты, указанные риски взаимосвязаны и усиливают друг друга. Действительно, климатические изменения приводят к дефициту пресной воды и нестабильности урожаев, что требует увеличения инвестиций в сельское хозяйство. А хроническая нехватка продуктов питания толкает людей к бунтам или к вынужденной миграции в более благополучные регионы и страны.

Видные международные эксперты утверждают, что провал в борьбе с климатическими изменениями окажет существенное негативное влияние

на мировую экономику. По их оценкам, к 2020 г. глобальное потепление приведёт к потере около 3–4% мирового ВВП, то есть всего его прироста, а к 2040 г. — уже около 10%.

Позитивным духом, царившим на Парижской конференции, была проникнута атмосфера очередной Климатической конференции ООН (COP 22), проходившей с 7 по 18 ноября 2016 г. в Марракеше (Марокко). В её повестку входила разработка целей и правил реализации Парижского соглашения. Приоритетной темой стало ускоренное развитие ВИЭ и постепенное сворачивание использования угля как наиболее “грязного” ископаемого топлива. Важно, что эти вопросы обсуждались с широким участием представителей бизнеса и промышленности, без тесной вовлечённости которых борьба с изменением климата не может быть эффективной. В ходе конференции Германия, Канада и США представили свои стратегии долгосрочного энергоэкологического развития, способные обеспечить радикальное сокращение выбросов парниковых газов к 2050 г. Германия планирует снизить эмиссию углерода на 80–95% от уровня 1990 г., а США и Канада — на 80% [9].

По итогам конференции в Марракеше почти 200 стран единогласно приняли декларацию, в которой ещё раз подтвердили свою приверженность Парижскому соглашению и готовность разработать правила его реализации не за четыре, как планировалось первоначально, а за два года. Была достигнута договорённость об углеродной отчётности, обновлении целей по сокращению выбросов и прозрачности обязательств. Удалось разработать “дорожную карту” по финансированию поддержки бедных и наиболее уязвимых к климатическим изменениям стран в реализации их планов по адаптации к негативным последствиям изменения климата и по развитию “зелёной” экономики.

Сюрпризом для скептиков стало создание в ходе конференции в Марракеше альянса 47 развивающихся и наиболее уязвимых к климатическим изменениям стран и их заявление о готовности к полному переходу на ВИЭ к 2030–2050-м годам [9]. Конечно, это возможно лишь при том условии, что их поддержит Зелёный климатический фонд. Однако важно, что большинство этих стран готовы прилагать и собственные усилия. В их числе такие крупные развивающиеся страны, как Бангладеш, Вьетнам, Камбоджа, Кения, Танзания, Эфиопия, Филиппины и др. Спрос на средства Зелёного климатического фонда неуклонно растёт. По оценке ЮНЕП, только в ближайшие 15 лет поток “климатического” финансирования из развитых стран в развивающиеся должен ежегодно составлять 150 млрд. долл. на стимулирование низкоуглеродной экономики и 130 млрд. долл. на адаптацию к изменениям климата. Большая

часть этих средств пойдёт на реализацию проектов по повышению энергоэффективности и ввод генерирующих мощностей на основе ВИЭ. Для сравнения, сегодня инвестиции в ВИЭ в развивающихся странах составляют примерно 150 млрд. долл. в год, из которых более 80 млрд. приходится на солнечную энергетику и более 65 млрд. — на ветроэнергетику. После Парижа и Марракеша объём этих средств должен увеличиться на 30–50%.

Важность конференций в Париже и Марракеше связана с тем, что они придали необратимый характер развитию низкоуглеродной энергетики, процессу радикального сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу. Международное сообщество впервые решительно принимается за активную работу по реализации амбициозных целей, заложенных в Парижском соглашении. Четверть века, минувшие с исторической конференции в Рио-де-Жанейро, не прошли даром, и сегодня намечается прорыв. Основные итоги Парижской конференции ООН можно сформулировать следующим образом:

- принятие юридически обязательного климатического соглашения, в котором ставится амбициозная цель удержать рост средней глобальной приземной температуры в пределах $1,5\text{--}2^\circ\text{C}$ к концу XXI в. по отношению к $+14^\circ\text{C}$ в доиндустриальную эпоху и предписывается всем странам разработать национальные долгосрочные стратегии развития низкоуглеродной энергетики и сокращения выбросов парниковых газов, а также планы по адаптации к изменениям климата на ближайшие 15–20 лет;
- установка на сокращение потребления угля в энергетических целях как наиболее “грязного” ископаемого топлива;
- принятие решений со стороны международных и крупных национальных банков и финансовых организаций о льготном и преимущественном кредитовании низкоуглеродных энергетических проектов, в первую очередь тех, которые основаны на ВИЭ, что будет способствовать ускорению перехода к низкоуглеродной энергетике по всему миру;
- достижение договорённости о ежегодном предоставлении развитыми странами 100 млрд. долл. слаборазвитым и наиболее уязвимым к климатическим изменениям странам, чтобы помочь им развивать “зелёную” экономику и адаптироваться к изменениям климата.

ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ И ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА

То, что на нашей планете происходят масштабные изменения климата, — уже установленный факт [10, 11]. Большинство специалистов, к числу которых относится и автор настоящей статьи,

утверждают, что наблюдается глобальное потепление, вызванное антропогенным воздействием. Справедливости ради следует отметить, что есть также немногочисленные сторонники сценария скорого наступления очередного естественного похолодания [12].

Установлена главная причина глобального потепления — рост концентрации в атмосфере углекислого газа и других парниковых газов вследствие их нарастающего выброса в атмосферу при сжигании ископаемого органического топлива — угля, нефти и газа. Парниковые газы поглощают инфракрасное тепловое излучение, испускаемое Землёй, и нагревают приземную атмосферу. Таким образом, энергопотребление является ключевым фактором климатических изменений и глобального потепления. На производство энергии приходится две трети глобальных выбросов парниковых газов [4, 6]. Кроме того, энергия — основной фактор современного экономического развития и создания комфортных условий жизни и деятельности человека, поэтому потребление энергии растёт во всё возрастающем масштабе. Так, с начала индустриальной революции, датируемой 1860 г., в течение последующих 155 лет в результате промышленной деятельности человека в атмосферу дополнительно поступило примерно 255 Гт углерода (гигатонна = 1 млрд. т), что повысило температуру приземной атмосферы примерно на $0,9^\circ\text{C}$ [13]. В целом за счёт естественных и антропогенных факторов средняя температура воздуха в приземной области повысилась на 1°C по сравнению с 1900 г. и сегодня составляет примерно 15°C .

Почему именно углекислый газ из числа всех парниковых газов привлекает к себе особое внимание? Ведь в структуре парниковых газов ведущее место занимает водяной пар, который задерживает примерно 60% тепловых потоков, излучаемых Землёй. Дело в том, что количество водяного пара в атмосфере определяется планетарным круговоротом воды и практически постоянно, то есть меняется со временем незначительно. Примерно 20% тепла, исходящего от Земли, задерживается углекислым газом, главными природными источниками которого являются лесные пожары и извержения вулканов. На долю остальных парниковых газов — метана, хлорфторуглеродов, оксидов азота и др. — приходится тоже около 20%. Но их концентрация в атмосфере несравненно меньше, чем концентрация углекислого газа, а их совокупный парниковый эффект незначительно меняется со временем. Поскольку метан обладает наивысшим парниковым эффектом, крайне важно позаботиться о сокращении его выбросов при добыче нефти и газа. Но основную роль в усилении парникового эффекта играет CO_2 , концентрация которого заметно росла в течение последних 150 лет индустриальной эпохи.

Такие природные явления, как циклические колебания мощности солнечного излучения, могут несколько усилить или ослабить парниковый эффект, но в долгосрочной перспективе только он оказывает существенное влияние на климат Земли.

В доиндустриальную эпоху в атмосфере содержалось приблизительно 575 Гт углерода, причём это количество было практически постоянным на протяжении нескольких сотен тысяч лет, что свидетельствует о сбалансированности углеродного цикла в природе [14]. К 2015 г. содержание углерода в атмосфере возросло до 830 Гт, то есть произошла существенная разбалансировка углеродного цикла. Атмосферный углерод представлен в виде углекислого газа CO_2 (двуокиси или диоксида углерода), масса которого в атмосфере составляет сейчас примерно 3041 Гт.

Объёмную концентрацию CO_2 в атмосфере обычно принято измерять в частях на миллион. Сейчас это 400 млн.⁻¹, или 400 ppm (0,04%). Заметим, что столь высокая концентрация CO_2 в атмосфере Земли отмечалась лишь миллионы лет назад [15]. В стабильной атмосфере в межледниковые периоды (около 120–140 тыс. лет назад) концентрация CO_2 составляла 280 ppm, что эквивалентно 575 Гт углерода. На протяжении последних нескольких сотен лет она испытывала небольшие колебания около некоторого среднего значения (275 ± 10 ppm), которое считается доиндустриальным уровнем [16]. Значит, равновесие между поглощением CO_2 океанами и экосистемами суши и его выбросом в атмосферу в доиндустриальную эпоху поддерживалось с высокой точностью. Сегодня большинство исследователей считают доиндустриальный уровень концентрации CO_2 равным 280 ppm. Как видим, антропогенная деятельность привела к значительной разбалансировке углеродного цикла, вследствие чего за последние 155 лет объёмная концентрация CO_2 в атмосфере увеличилась до 400 ppm (0,04%), то есть почти на 43% [15]. Установлено, что антропогенный парниковый эффект на 67% обусловлен добычей и сжиганием органического топлива, на 9% — исчезновением лесов и на 14% — промышленным производством, не связанным с энергетическим циклом [17].

Насколько сильно влияют на климат Земли антропогенные выбросы CO_2 ? Чтобы ответить на этот вопрос, климатологи используют специальную величину, которая называется *чувствительностью климата*. Единицей измерения чувствительности климата служит равновесное повышение приземной температуры воздуха при удвоении концентрации CO_2 (с 280 до 560 ppm). Ещё в 1896 г. лауреат Нобелевской премии шведский учёный Сванте Аррениус впервые подсчитал, что увеличение

концентрации CO_2 в атмосфере в 2 раза должно привести к повышению её температуры на 4–6°C. В 1970-е годы Национальная академия наук США оценила температурный эффект удвоения концентрации CO_2 в 1,5–4,5°C [10]. Эта оценка в дальнейшем была проверена и подтверждена многими независимыми исследованиями [18]. Однако существенно сузить данный интервал, к сожалению, пока не удалось: по современным оценкам, он составляет от 2 до 4,5°C. Источником неопределённости служит главным образом недостаток сведений о влиянии облачности. Дело в том, что нагревание атмосферы с ростом концентрации CO_2 подавляется одновременно усиливающейся облачностью, то есть облачность несколько сглаживает тепловой эффект CO_2 . По оценке С. Шнейдера [19], увеличение (уменьшение) облачности на величину порядка одного балла может привести к уменьшению (увеличению) температуры воздуха у поверхности Земли на 1,5–2°C.

В качестве наиболее вероятного значения чувствительности климата следует рассматривать величины около 3°C [14, 20]. Важно, что весьма близкие результаты были получены с применением различных теорий климата. В одной работе [14] была предложена полуэмпирическая теория термического режима атмосферы, основанная на энергетическом балансе земной поверхности и атмосферы. В другой [20] — предложена численная модель теории климата, основанная на модели общей циркуляции атмосферы с учётом циркуляции вод в океанах. Кроме того, чувствительность климата, равная 3°C, хорошо согласуется с данными ледникового периода. Поэтому в работе [10] делается вывод: чувствительность климата следует оценивать равной $3 \pm 1^\circ\text{C}$. Там же сформулированы пять основополагающих тезисов, которые за последние десятилетия получили настолько убедительные подтверждения, что их справедливость признана абсолютным большинством активно работающих климатологов.

Начиная приблизительно с 1850 г. концентрация CO_2 в атмосфере значительно увеличилась — с 280 ppm в межледниковья за последние 400 000 лет до 400 ppm в настоящий момент (рис. 1).

Причиной этого изменения является хозяйственная деятельность человека: в первую очередь — сжигание ископаемого органического топлива, во вторую — сведение лесов.

Углекислый газ воздействует на климат, изменяя радиационный баланс Земли: рост концентрации этого газа ведёт к повышению приземной температуры атмосферы. Весьма вероятно, что при удвоении его концентрации (с 280 до 560 ppm) средняя глобальная температура повысится на $3 \pm 1^\circ\text{C}$.

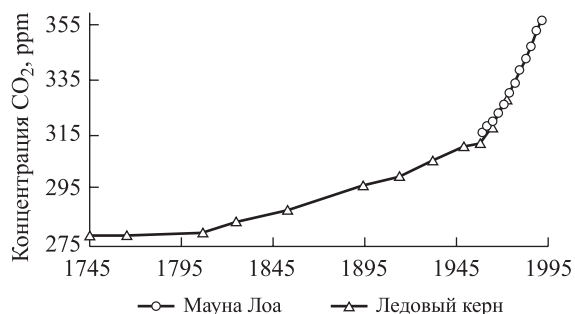


Рис. 1. Рост концентрации CO_2 (млн. $^{-1}$) в атмосфере, по данным ледового ядра Антарктиды 1745–1973 гг. и измерений на станции Мауна-Лоа 1959–1992 гг. [21]

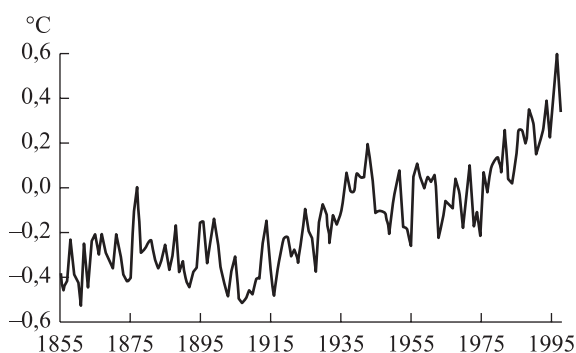


Рис. 2. Аномалии приземной глобальной температуры атмосферы в 1856–1999 гг. [22]

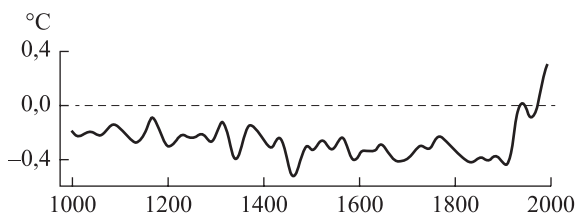


Рис. 3. Аномалии средней глобальной температуры атмосферы за последнее тысячелетие, по данным МГЭИК [23]

В XX в. имело место значительное потепление климата (в глобальном масштабе — примерно на $0,8^\circ\text{C}$, в Европе — на 1°C); температура в последние 10 лет в глобальном масштабе была самой высокой со времени начала наблюдений в XIX в. (рис. 2).

Основной вклад в потепление ($\approx 0,6^\circ\text{C}$) обусловлен антропогенным ростом концентрации CO_2 и других газов; естественными причинами, в частности колебаниями солнечной активности, объясняется лишь незначительное увеличение приземной температуры.

Температура воздуха является важнейшим климатическим фактором, который определяет характер и условия жизни человека и его хозяйственной деятельности. Изменения температуры атмосферы

влияют на интенсивность биологических процессов на суше и в океане, вызывают нарушения установившихся биогеохимических циклов. Поэтому последствия глобального потепления могут быть весьма разрушительными [10, 15]. Следовательно, необходимо использовать все возможности для уменьшения концентрации CO_2 в атмосфере. Наиболее доступным и эффективным средством на этом пути будет постоянная забота о повышении абсорбирующей способности естественных природных поглотителей углерода: необходимо высаживать леса и рекультивировать земли сельскохозяйственного назначения.

По утверждению Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change), до 1976 г. изменчивость климата не превышала естественных вариаций, оценённых на промежутке времени около 1000 лет, но затем амплитуда колебаний температуры превысила этот порог, и стало возможным говорить об *антропогенном глобальном потеплении* вследствие возросшего парникового эффекта [23]. Таким образом, опасность представляет не парниковый эффект как таковой, а превышение его установившегося фонового уровня. Ведь именно благодаря парниковому эффекту среднегодовая температура в приземной атмосфере в последние тысячелетия находилась примерно на уровне $+14^\circ\text{C}$, что сделало климат Земли комфортным и пригодным для жизни. Без парникового эффекта вся наша планета неминуемо должна была бы покрыться льдом, поскольку тогда средняя температура приземной атмосферы составила бы -18°C . Причина беспокойства по поводу глобального потепления — усиление вследствие хозяйственной деятельности человека естественного природного механизма (рис. 3).

Итак, выше мы приняли гипотезу о том, что современное глобальное потепление напрямую связано с ростом индустриальных выбросов CO_2 . Справедливости ради следует подчеркнуть, что данная гипотеза до сих пор не получила строгого доказательства. Наличие зарегистрированной эмпирической связи между указанными двумя процессами не означает, что эта зависимость является именно причинно-следственной. Современные климатические модели общей циркуляции атмосферы и океана на основании учёта парникового эффекта индустриальных выбросов CO_2 и действия аэрозолей достаточно хорошо описывают приведённую выше динамику температуры в XX в. [11, 20]. Однако, как справедливо отмечает один из пионеров разработки подобных моделей А.М. Тарко [11], математическая модель не может служить доказательством наличия причинной связи.

О ВОЗМОЖНЫХ ПОСЛЕДСТВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

По оценкам экспертов МГЭИК (IPCC), обязательства по снижению выбросов парниковых газов, которые добровольно взяли на себя страны-участницы в преддверии Парижской конференции, позволят не допустить роста среднемировой приземной температуры более чем на $2,6\text{--}3,9^\circ\text{C}$ к 2100 г. [4]. Ограничение потепления $2,6^\circ\text{C}$ может быть достигнуто при условии строгого выполнения всех принятых национальных обязательств по сокращению выбросов, а $3,9^\circ\text{C}$ — если сохранится нынешняя политика умеренного выполнения своих обязательств крупнейшими странами (Китай, США, Индия, Россия, Япония, Бразилия и др.), которые не видят большого риска и значительных проблем для своих территорий, если приземная температура вырастет не более чем на 3°C в период до 2030 г. Однако экологи и климатологи убеждены, что этого совершенно недостаточно. В Парижском соглашении была поставлена цель удержать лимит потепления к концу XXI в. на уровне менее 2°C , а в идеале $1,5^\circ\text{C}$. Поскольку среднемировая приземная температура к настоящему времени уже поднялась на 1°C относительно доиндустриального уровня, то в течение XXI в. необходимо ограничить дальнейшее её увеличение максимум на 1°C , а лучше — на $0,5^\circ\text{C}$.

Действительно, согласно последним научным исследованиям, при потеплении на 2°C только в связи с дефицитом воды в одних районах и её избытком — в других и вызванными этим засухами и опустыниванием, наводнениями и штормами, подтоплением низменных территорий уже к середине столетия будут страдать 300–500 млн. человек, а при потеплении на 3°C — около 3 млрд. человек, то есть треть человечества [2]. Как видим, последствия потепления на 2° и на 3°C по своим масштабам разнятся почти на порядок. Повышение температуры приземной атмосферы приводит к учащению таких климатических явлений, как аномальная жара, засухи, наводнения, ураганы и штормы. Они становятся всё опаснее. Климатическое моделирование с помощью современных суперкомпьютеров показывает, что с повышением температуры периоды аномальной жары будут длиться дольше, а ураганы и наводнения станут ещё более разрушительными. Подъём уровня Мирового океана к концу XXI в. при потеплении на 2°C прогнозируется до 1,5 м, а при потеплении на 3°C — до нескольких метров, а значит, возникнет необходимость переселения сотен миллионов человек. Все эти проблемы могут приобрести катастрофические последствия для большого числа уязвимых и малых островных государств и многих засушливых азиатских и африканских стран.

Говоря о глобальном потеплении климата, обычно имеют в виду повышение среднемировой температуры. Однако в разных регионах Земли изменения климата проявляются неодинаково: где-то это засухи, где-то наводнения, где-то таяние вечной мерзлоты, а где-то волны жары и другие неблагоприятные явления. Соответственно, и меры адаптации к этим изменениям климата должны быть разными. Важно принимать во внимание, что чем дальше вы находитесь от экватора, тем выше темпы роста температуры. Температура в Арктике увеличивается в 2 раза быстрее, чем где бы то ни было на планете. Поэтому при повышении глобальной температуры на 2°C температура в России может вырасти на $4\text{--}6^\circ$, а в Арктике — на 10°C . В результате будет происходить интенсивное таяние ледников в Арктике и Антарктиде, а следовательно, поднимется уровень Мирового океана. В России это приведёт к таянию вечной мерзлоты на значительной части территории Сибири.

Достоверные данные свидетельствуют о повышении уровня Мирового океана, уменьшении снежного и ледового покрова. Так, уровень Мирового океана в течение последней четверти XX столетия, по разным оценкам, повысился на 10–25 см, а к 2025 г. он поднимется ещё на 20–30 см. Доказано, что даже частичное таяние континентальных ледовых щитов может повлечь за собой рост уровня Мирового океана, измеряемый многими метрами, что приведёт к полному изменению береговых линий и затоплению сотен крупнейших городов мира, являющихся промышленными, торговыми и культурными центрами. Один Гренландский ледник содержит такое количество воды, что в результате его полного таяния уровень океана повысится на 7 метров! Модельные расчёты показали, что локальное потепление на 3°C повлечёт за собой полное исчезновение этого ледника [10]. По данным учёных из Университета Южной Калифорнии, если средняя глобальная температура на Земле возрастёт на 5°C , то нашу планету ждёт повторение трагедии пермского периода, когда произошло массовое вымирание всего живого. В океанах, по их расчётам, погибнет до 90% живых существ, поскольку значительная часть избыточного CO_2 поглощается именно океанами. Всё больше учёных полагают, что катастрофические ураганы, наводнения, засухи и другие природные бедствия, участившиеся в последнее время, — прямые последствия глобального потепления [10, 24].

Начнём с таяния полярных ледников. В Арктике температура повышается особенно быстро. За последние 50 лет даже зимняя температура поднялась на $2\text{--}4^\circ\text{C}$. Площадь ледяного покрова Арктики в летние месяцы за последние 35 лет сократилась на 20%, а его толщина уменьшилась наполовину всего за шесть лет — с 2001 по 2007 г. [10]. Компьютерное

моделирование показывает, что уже в первой половине XXI в. Северный Ледовитый океан летом должен будет полностью освободиться ото льда. С физической точки зрения, замена белой ледяной поверхности, отражающей большее количество солнечного света, на тёмную воду, активно поглощающую свет, только ускорит процесс потепления. В биологическом отношении это приведёт к резкому сокращению популяции белых медведей, моржей, тюленей и морских птиц, жизненный цикл которых зависит от ледяного покрова. Отдельные виды животных могут полностью исчезнуть.

Тают горные ледники — природные хранилища пресной воды, питающие крупнейшие реки мира. Их активное таяние приведёт к временному повышению уровня воды в реках, поэтому воды для орошения на какое-то время станут больше. Но затем, когда большие ледники сократятся в размерах, а малые полностью исчезнут, воды для ирригационных целей уже не будет хватать катастрофически. Наиболее запомнившимся недавним примером трагических последствий ускоренного таяния горных ледников стали драматические события в Пакистане летом 2010 г. Тогда из-за аномальной жары, достигавшей порой 60–70°C, рекордной даже для Южной Азии, произошло быстрое таяние снега и ледников на западе Гималаев, где берёт своё начало река Инд. В результате река и её притоки вышли из берегов и затопили пятую часть страны, причём наиболее плодородную пойму, которая давала богатый урожай. Катастрофическое наводнение унесло жизни свыше 2 тыс. человек, утонуло более 1 млн. голов скота, около 20 млн. человек остались без крова.

Конечно, таяние горных ледников Гималаев, Тибетского плато, Тянь-Шаня и Памира помогает поддерживать уровень воды в великих реках Китая, Индии, Пакистана и Центральной Азии во время сухого сезона. Но их ускоренное таяние, вызванное потеплением, грозит катастрофическими наводнениями, а затем постепенным усыханием рек и жизни на их берегах. А без воды нарушается природное равновесие, приходят волны жары, засухи и лесные пожары. Главная же угроза для человечества в ближайшем будущем — дефицит питьевой воды. Уже сегодня свыше 2,5 млрд. человек испытывают затруднения с доступом к чистой питьевой воде на протяжении одного месяца в течение года, в дальнейшем ситуация будет только ухудшаться.

Летом 2010 г. с конца июня до середины августа стояла необычайная жара и в России в целом, и в Москве и Московской области. Возникало много пожаров, горели леса, Москва была окутана дымом. В июле температура оказалась на 8°C выше средней, дважды за лето она поднималась более чем до 50°C. Аномальная жара, самая сильная за 130 лет

наблюдений, нанесла тяжёлый удар по экономике России. Потери от сгоревших лесов составили сотни миллиардов рублей, из-за засухи урожай зерна сократился со 100 млн. т до 60 млн. т.

Другим подобным примером служит волна жары в Европе летом 2003 г., которая, по разным оценкам, унесла жизни от 20 тыс. до 30 тыс. человек [10]. Эксперты тогда утверждали, что это была крупнейшая природная катастрофа в Средней Европе с 1500 г. Даже в горах Швейцарии температура превышала стандартную среднюю на 7°C. Беда в том, что такого масштаба катастрофы теперь происходят каждое десятилетие, и есть основание полагать, что всё это — следствие повышения температуры приземной атмосферы.

Участились тропические ураганы, энергия которых напрямую зависит от температуры на поверхности океана, где они рождаются, и температуры атмосферы над ней. С повышением температуры атмосферы из-за увеличения разницы температур ураганы становятся мощнее и разрушительнее. Примером может служить ураган “Катрина” обрушившийся на США в августе 2005 г. [10]. Учёные тогда отмечали, что никогда ранее не наблюдалось в один год столько ураганов, сколько их пронеслось в 2005 г. — 27, причём три из них достигли наивысшей разрушительной силы — 5-й категории.

Расширяется также география пыльных и песчаных бурь, которые рождаются на суше вследствие активной эрозии почвы. К великому сожалению, эрозия почвы, вызванная активным распахиванием земель сельскохозяйственного назначения и выбиванием пастбищ, вырубкой лесов и вытаптыванием растительности, сегодня происходит быстрее, чем процесс образования новой почвы, и миллионы гектаров цветущей земли утрачивают плодородие, превращаются в пустыни. Так, если в 1960 г. на одного жителя планеты приходилось 1,6 га пахотной земли, то сейчас — всего 0,7 га, то есть сокращение достигает более чем двух раз. В 2010 г. ООН заявила, что опустынивание может затронуть четвертую часть поверхности земной суши, причём оно порождает песчаные бури, которые заставляют миллионы людей оставлять насиженные пахотные земли и пастбища.

Прежде от пыльных бурь страдали в основном жители северо-восточных районов Китая и ряда стран Ближнего Востока, то есть пыльные бури были локальным явлением. Теперь они стали распространяться в глобальном масштабе. Например, в 2001 и 2009 гг. пыльные бури, зародившиеся в пустынях Монголии и Китая, достигли американского континента и накрыли огромные территории США и Канады [24]. Подобные бури наносят огромный ущерб здоровью миллионов людей, сельскому хозяйству и инфраструктуре. Но подлинная

беда в том, что они уносят миллионы тонн пахотной плодородной почвы, на восстановление которой уйдут века. Утрата пахотного слоя означает потерю органических веществ, содержащихся в почве, погибает растительность, что грозит дополнительным насыщением атмосферы углеродом. Заметим, что в целом аграрный сектор является третьим по значению источником выбросов углерода после энергетики и транспорта. Таким образом, истощение почвы также ведёт к ускорению процесса потепления.

Пыльные бури ежегодно уносят с Африканского континента почти 3 млрд. т почвы. Постепенно материк лишается плодородного слоя, из-за эрозии почвы каждый год теряется около 8 млн. т зерна (8% годового урожая) [24]. Рост населения в африканских странах вызывает увеличение поголовья скота, что приводит к выбиванию пастбищ. Огромные территории на севере Африки, объединённые под названием Сахель, страдают не только от выбивания пастбищ, но и от продолжительной засухи, которую учёные связывают с потеплением климата Земли.

Потеплением климата объясняется также нарастающий дефицит пресной воды. Около 70% всей пресной воды используется для ирригации, 20% — в промышленном секторе, а 10% — на остальные нужды. Чтобы получить 1 т зерна, нужно израсходовать 1000 т воды. Например, в Китае на орошаемых полях выращивается 4/5 урожая, в Индии — 3/5, а в США — 1/5. В этих трёх странах, являющихся лидерами по производству зерна, уже почти достигнут потолок его производства. Потребность в воде для орошения за последние 50 лет выросла в 3 раза. Вода для этих целей всё больше выкачивается из водоносных горизонтов, причём с такой скоростью, что пополнение за счёт атмосферных осадков не успевает компенсировать потери. Уровень грунтовых вод стремительно падает, приходится бурить всё глубже, чтобы добраться до воды. Дефицит пресной воды, который увеличивается с каждым годом, может резко снизить урожайность зерновых. Нехватка же продовольствия чревата трагическими последствиями, она представляет угрозу продовольственной безопасности и социально-политической стабильности. Когда использование водных ресурсов для орошения достигнет предельных величин, наступит эра активной борьбы за воду, которая может перерасти в кровопролитные межрегиональные и межгосударственные конфликты.

Посмотрим, как потепление климата влияет на производство одной из ключевых мировых сельскохозяйственных культур — кофе. Потребление кофе растёт на 5% ежегодно, а его экспорт только в 2015 г. принёс развивающимся странам доход

в 19 млрд. долл. Сегодня в мировом производстве доминирует сорт “арабика”, произрастающий в высокогорных районах тропиков и требующий особых температурных условий — 18–21°C. Отклонение температуры даже на полградуса приводит к резкому ухудшению качества зёрен. Вдобавок повышение глобальной температуры привело к резкому увеличению популяции кофейных жуков и нашествию грибов, известных как кофейная ржавчина. Они уже наносят огромный ущерб, который оценивается в 500 млн. долл. ежегодно. Метеорологические данные свидетельствуют, что за последние десятилетия температура в странах “кофейного пояса” изменилась. В Эфиопии за период с 1960 по 2006 г. среднегодовые показатели повысились на 1,3°C, в Мексике, Гватемале и Гондурасе — на 1°C, а количество осадков с 1980-х годов, напротив, сократилось на 15%. Так что со временем кофе станет менее доступным элитарным напитком.

В настоящее время для поддержания стабильных цен на продовольствие необходимо собирать рекордные урожаи. Однако избежать повышения цен в ближайшем будущем вряд ли удастся из-за ожидаемого спада урожайности. Когда цены на продукты питания взлетят по всему миру, заставив миллиарды малообеспеченных семей снизить потребление, многие регионы могут потрясти революции, подобные тем, которые стали прелюдией “арабской весны” 2011 г. Именно резкий подъём цен на продовольствие в начале 2011 г. породил социальную напряжённость во всём развивающемся мире, а в странах Ближнего Востока и Северной Африки он стал спусковым крючком социальных потрясений. Мировые цены на пшеницу в 2008 г. взлетели со 180 долл./т до 380 долл./т, и это повторилось в конце 2010 г. В целом мировые цены на продовольствие в период с 2009 по 2011 г. увеличились на 150%.

* * *

Все приведённые выше примеры негативных последствий потепления климата Земли — усиление стихийных природных бедствий, в том числе аномальной жары, тропических ураганов, наводнений, пыльных бурь и штормов — говорят о необходимости безотлагательного принятия мировым сообществом в лице ООН, G20 и других международных организаций мер по стабилизации климата. Излишнее потепление резко обострит проблему водообеспечения и продовольственного снабжения населения многих стран в разных регионах Земли, особенно в Африке. И тогда начнётся беспрецедентная вынужденная миграция населения, которая может достичь десятков, а то и сотен миллионов человек, и Европа столкнётся с ещё более грандиозным кризисом, чем нынешний.

Выше уже отмечалось, что совокупность всех добровольных национальных обязательств по сокращению выбросов парниковых газов недостаточна для удержания прироста средней глобальной температуры в пределах 2°C, не говоря уже о достижении более амбициозной цели, поставленной Парижским соглашением, — 1,5°C. Очевидно, что в 2020-е годы, после официального вступления в силу Парижского соглашения, от международного сообщества потребуются новые усилия, принятие более радикальных мер по сокращению выбросов парниковых газов, ускорению процесса декарбонизации энергетики и экономики в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/rus/109r01r.pdf>
2. http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5-scenario_process/RCPs.html
3. <http://www.iea.org/publications/scenariosandprojections/>
4. OECD/IEA, 2015: Energy and Climate Change; <http://www.iea.org/publications/free-publications/publication/WEO2015Special-ReportonEnergyandClimateChangeExecutiveSummaryRussianversion.pdf>; www.worldenergyoutlook.org/energyclimate
5. OECD/IEA, 2015: World Energy Outlook 2015; <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015ESRUSSIAN.pdf>; www.worldenergyoutlook.org
6. OECD/IEA, 2015: Energy Technology Perspectives 2015; <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2015ExecutiveSummaryRussianversion.pdf>; www.iea.org/etp2015
7. Рифкин Дж. Третья промышленная революция. М.: Альпина нонфикшн, 2015.
8. <http://www.weforum.org/events/world-economic-forum-annual-meeting-2016/>
9. <http://www.unmultimedia.org/radio/russian/archives/231572/#.WFrAhtKLSUk>
10. Rahmstorf S., Schellnhuber H.J. Der Klimawandel. Diagnose, prognose, therapie. München: Verlag C.H. Beck OHG, 2007.
11. Тарко А.М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. М.: Физматлит, 2005.
12. Клименко В.В., Клименко А.В., Андрейченко Т.Н. и др. Энергия, природа и климат. М.: Изд-во МЭИ, 1997.
13. US National Centers for Environmental Information: Climate at a Glance. <http://www.ncdc.noaa.gov/cag/time-series/global>
14. Будыко М.И. Изменения климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
15. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеоиздат, 1980.
16. <http://www.scientificamerican.com/article/2015-begins-with-co2above-400-ppm-mark/>
17. Исаев А.А. Экологическая климатология. М.: Научный мир, 2003.
18. Schlesinger M.E. A review of climate models and their simulation of CO₂-induced warming // Inter. J. Environmental Studies. 1983. V. 20. P. 103–114.
19. Schneider S.H. Cloudiness as a global climatic feedback mechanism: the effects on the radiation balance and surface temperature of variations in cloudiness // J. Atmos. Sci. 1972. V. 29. № 8. P. 1413–1422.
20. Manabe S., Wetherald R.T. The effect of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model // J. Atm. Sci. 1975. V. 32. № 1. P. 3–15.
21. TREND's 93. Compendium of Data on Global Change / Eds. T.A. Boden, D.P. Kaiser, R.J. Sepanski, F.W. Stoss. Oak Ridge: Carbon Dioxide Informational Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, 1994.
22. Jones P.D., Parker D.E., Osborn T.J., Briffa K.R. Global temperature anomalies in 1856–1999 // TREND's 93: A Compendium of Data on Global Change. Oak Ridge: Carbon Dioxide Informational Analysis Center, 1994.
23. IPCC: Climate Change 2001. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
24. Браун Л. Мир на грани. Как предотвратить экологический и экономический кризис. М.: АСТ-Пресс книга, 2013.

С КАФЕДРЫ
ПРЕЗИДИУМА РАН

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОТЕОМА ЧЕЛОВЕКА

© 2017 г. Е.А. Пономаренко, Е.В. Поверенная, Е.В. Ильгисонис,
А.Т. Копылов, В.Г. Згода, А.В. Лисица, А.И. Арчаков

Научно-исследовательский институт биомедицинской химии им. В.Н. Ореховича, Москва, Россия

e-mail: 2463731@gmail.com; k.poverennaya@gmail.com;
ilgisonis.ev@gmail.com; a.t.kopylov@gmail.com;
victor.zgoda@gmail.com; lisitsa063@gmail.com;
alexander.archakov@ibmc.msk.ru

Поступила в редакцию 30.09.2016 г.

В статье рассматриваются биоинформационные и экспериментальные подходы к изучению протеома человека — совокупности белков различных тканей и органов. Поскольку протеом динамичен, то для определения его размера необходимо установить его ширину (количество различных видов белков — протеоформ) и глубину (количество копий каждой протеоформы в определённой ткани). Было спрогнозировано количество протеоформ, образующихся в результате процессов альтернативного сплайсинга, реализации на протеомном уровне однонуклеотидных замен (одноаминокислотных полиморфизмов и посттрансляционных модификаций). Экспериментальное подтверждение наличия протеоформ ограничивается аналитической чувствительностью протеомных технологий. Предложенные авторами метабиоинформационные подходы могут быть использованы для оценки количества протеоформ для любой группы белок-кодирующих генов.

Ключевые слова: альтернативный сплайсинг, биоинформатика, масс-спектрометрия, посттрансляционные модификации, протеом.

DOI: 10.7868/S0869587317070027

Благодаря секвенированию генома человека [1] были расшифрованы последовательности белок-кодирующих генов. Следующий шаг к пониманию сложности молекулярной организации человека — выяснить, как именно реализуется закодированная в геноме информация на транскриптомном и протеомном уровнях. В 2014 г. были опубликованы две статьи, раскрывающие “черновик”

протеома человека [2, 3]. Тем не менее расшифровка протеома, представляющего собой совокупность молекулярных белковых профилей различных тканей и органов, по-прежнему требует значительных усилий.

Динамичная природа протеома [4] обуславливает наличие двух направлений его исследования: во-первых, определение количества различных типов белков (в данной работе различные варианты белка, транслируемые с одного гена, обозначены термином “протеоформы”); во-вторых — измерение количества копий каждой протеоформы в биологическом материале. Рассматривая протеом как совокупность различных белков, можно представить многообразие видов протеоформ как ширину протеома, а количественное содержание каждой протеоформы — как его глубину. Таким образом, исследование протеома человека включает определение ширины и глубины для разных типов биоматериала.

Согласно гипотезе “один ген кодирует один белок”, в организме человека должно быть как минимум

ПОНОМАРЕНКО Елена Александровна — кандидат биологических наук, заведующая лабораторией анализа постгеномных данных ИБМХ. ПОВЕРЕННАЯ Екатерина Владимировна — кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории анализа постгеномных данных ИБМХ. ИЛЬГИСОНИС Екатерина Викторовна — кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории анализа постгеномных данных ИБМХ. КОПЫЛОВ Артур Тигранович — кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории системной биологии ИБМХ. ЗГОДА Виктор Гаврилович — доктор биологических наук, заведующий лабораторией системной биологии ИБМХ. ЛИСИЦА Андрей Валерьевич — академик РАН, директор ИБМХ. АРЧАКОВ Александр Иванович — академик РАН, научный руководитель ИБМХ.

20 тыс. немодифицированных (канонических) белков. В реальности их существенно больше, так как многие белки появляются в результате альтернативного сплайсинга (alternative splicing, AS) последовательности, содержат одноаминокислотные полиморфизмы (single amino-acid polymorphisms, SAP — результат реализации на уровне протеома однонуклеотидных замен в геноме) или посттрансляционные модификации (post-translational modifications, PTM). Многообразие модифицированных форм белков, экспрессируемых с одного гена, по различным оценкам, может насчитывать десятки и сотни.

Экспериментальное подтверждение наличия протеоформ ограничено аналитической чувствительностью протеомных технологий, то есть возможностью обнаружения редких протеоформ. Данное ограничение является следствием принципиальных различий между геномикой и протеомикой [4]. В геномике для амплификации (увеличения числа копий) ДНК или РНК в биологическом образце до концентраций выше порога обнаружения используется метод полимеразной цепной реакции (ПЦР). Сейчас пока не существует сопоставимых по эффективности высокопроизводительных технологий, способных увеличить количество копий одного белка [4].

Расшифровка полного состава протеома человека, принимая во внимание всё многообразие протеоформ, затруднена также вследствие методических особенностей. Панорамная масс-спектрометрия и наиболее популярный протеомный подход “снизу—вверх” (от пептида к белкам, при котором детектируются отдельные пептиды, фрагменты аминокислотной последовательности белка, а полученный сигнал сравнивается с пептидной библиотекой) не позволяют достичь 100%-ного покрытия аминокислотной последовательности белка и, следовательно, выявить протеоформы, экспрессируемые с одного гена, но различающиеся в участках аминокислотных последовательностей, не распознанных масс-детектором.

В протеомных исследованиях упор делается на анализ *мастерных* форм белков — минимум одной протеоформы из множества кодируемых одним геном белков, содержащей по меньшей мере один протеотипический пептид, который можно зарегистрировать с помощью масс-спектрометрических методов. Поскольку оставшаяся часть последовательности может быть как модифицированной, так и немодифицированной, то мастерный белок может присутствовать в образце либо как одна протеоформа, либо как набор белков, имеющих одинаковые фрагменты аминокислотной последовательности (совпадающие с протеотипическим пептидом). В данном контексте подход “один ген — один белок” связан не с биологическими закономерностями, а с ограничениями подхода “снизу—вверх”,

применяемого для идентификации белков. Подход “снизу—вверх” актуален как в панорамном режиме (в области транскриптомики — секвенирование нового поколения, тандемная масс-спектрометрия для протеомных исследований), так и в виде направленных измерений продуктов определённых генов: ПЦР, мониторинг выбранных (множественных) реакций, иммуноферментный анализ.

В отсутствие совершенных экспериментальных методов расшифровки протеома и определения его ширины требуется анализ с помощью методов биоинформатики. Результаты биоинформационных предсказаний — основа для проведения последующего экспериментального исследования протеома и подтверждения наличия той или иной протеоформы в конкретном образце биоматериала.

Ширина протеома как многопараметрическая функция. Определение количества различных белков, составляющих протеом человека, — главный вопрос протеомики.

В данной работе мы даём теоретическую оценку количества протеоформ (N_{ps}), которые являются функцией от количества генов в геноме (N), процессов альтернативного сплайсинга (AS), образования одноаминокислотных замен (SAP) или посттрансляционных модификаций (PTM). Как правило, наличие в аминокислотной последовательности SAP-варианта предопределено на уровне ДНК, сплайс-варианты возникают на уровне мРНК, а PTM — на уровне протеома. Эти три процесса формально могут рассматриваться и как зависимые, и как независимые события.

Рассмотрим несколько возможных комбинаций молекулярных событий, приводящих к возникновению протеоформ [5]. Комбинаторные варианты не учитывались, поскольку не существует никаких систематических экспериментальных данных, описывающих частоту совместного возникновения различных типов модификации у белков.

Допустим, что модификации (SAP или PTM) возникают только в канонических вариантах аминокислотных последовательностей. Предполагая, что возникновение SAP и PTM происходит во всех генах равновероятно, введём формулу:

$$N_{ps} = N \cdot (1 + AS_{av} + SAP_{av} + PTM_{av}), \quad (1)$$

где N_{ps} — количество протеоформ; N — количество генов; $AS_{av}/SAP_{av}/PTM_{av}$ — среднее количество AS/SAP/PTM на один ген.

Второй случай состоит в предположении, что модификации (SAP или PTM) возникают как в канонических вариантах аминокислотных последовательностей, так и в сплайс-вариантах. Если

возникновение SAP и PTM происходит равновероятно во всех сплайс-вариантах, то:

$$Nps_2 = Nps_1 + AS \cdot (SAPav + PTMav). \quad (2)$$

Третий вариант допускает, что модификации (PTM) возникают в любых аминокислотных последовательностях. Если предположить, что совместное возникновение PTM и SAP происходит во всех сплайс-вариантах и канонических последовательностях, то:

$$Nps_3 = Nps_2 + N \cdot SAPav \cdot PTMav + AS \cdot SAPav \cdot PTMav. \quad (3)$$

Для прогнозирования количества протеоформ были использованы значения указанных в формулах (1), (2) и (3) показателей, рассчитанные на основе информации протеомной базы NeXtProt (версия 2015_06). База содержит сведения о человеческих белках, их модификациях и ключевых характеристиках аминокислотных последовательностей. Обновление данных о сплайс-вариантах, SAP и PTM осуществляется посредством аннотирования биологических данных из репозитория, научной литературы и с помощью предсказательных алгоритмов. Аннотирование базы данных — многоэтапный процесс, скорость которого во многом ограничена числом кураторов ресурса.

Мы проанализировали изменения сведений о количестве генов в геноме человека, данных о сплайс-вариантах, SAP и PTM с момента создания ресурса NeXtProt в 2011 г. до настоящего времени. Количество генов в геноме человека, согласно данным NeXtProt, изменялось весьма незначительно и составляло около 20 тыс. Начиная с 2013 г. показатели среднего количества AS, SAP или PTM на один ген остаются почти неизменными, хотя наблюдается некоторое увеличение сплайс-вариантов последовательностей в геноме человека.

Поиск по базе данных NeXtProt выявил 21 921 вариант альтернативного сплайсинга в 10 519 генах (в среднем $2,1 \pm 0,2$ сплайс-варианта на один ген). Наибольшее количество модифицированных форм объясняется возникновением SAP, появившихся в результате мутаций (в среднем $22,2 \pm 3,8$ варианта на ген). Посттрансляционные модификации возникают с частотой $6,4 \pm 1,2$ PTM/ген (94 042 PTM аннотировано для 14 009 генов). Подставив значения этих показателей в уравнения (1), (2) и (3) при $N=20\,057$, мы подсчитали, что в организме человека можно предполагать наличие 0,55, 1,18 или 7,14 млн. протеоформ соответственно (в зависимости от выбранной расчётной формулы).

Поскольку протеомные базы знаний объединяют информацию о вариабельности белков в человеческой популяции, указанные выше

оценки характеризуют ширину “популяционного” протеома, который формируется путём объединения в NextProt результатов протеомных исследований множества людей и насчитывает, по-видимому, до нескольких миллионов различных белков. Расшифровать вариабельность протеома, характерную для отдельного человека (“индивидуальный” протеом), то есть дать оценку персонализированному протеому, можно, используя результаты транскриптомного профилирования конкретного образца.

Результаты мета-анализа базы NeXtProt были сопоставлены с данными о количестве вариантов альтернативного сплайсинга и одноаминокислотных полиморфизмов, полученными с помощью метода секвенирования нового поколения и ПЦР. Использовались объединённые данные, полученные при анализе транскриптомов ткани печени человека и клеточной линии HepG2 [6–9].

Экспериментальные показатели количества сплайс-вариантов альтернативного сплайсинга (AS), одноаминокислотного полиморфизма (SAP), доли генов, подвергшихся альтернативному сплайсингу (ASd) и одноаминокислотным заменам (SAPd), и формулы (1), (2), (3) учитывались при расчёте количества протеоформ в каждом типе биологического материала. Так, в образце ткани печени человека можно предполагать наличие 128,5 тыс., 138,4 тыс. или даже 400,2 тыс. различных протеоформ в зависимости от расчётной формулы. Общее возможное количество протеоформ в клеточной линии HepG2 почти такое же, как в клетках печени, и составляет 129,3 тыс., 199 тыс. и 496,1 тыс. соответственно. Определённая на основе транскриптома биологического материала ширина протеома конкретного индивидуума в 10 раз меньше расчётного количества протеоформ, составляющих популяционный протеом, вычисленный на основе NextProt.

Провести сравнительную оценку вклада посттрансляционных модификаций в индивидуальный и популяционный протеом на данном этапе не представляется возможным, так как отсутствует высокопроизводительный метод детекции посттрансляционных модификаций в биоматериале. Среднее количество сплайс-вариантов на один ген примерно одинаково для индивидуального и популяционного протеома: в ходе экспериментального исследования транскриптомов найдено примерно 1,3 сплайс-варианта на ген для клеток ткани печени (1,5 — для клеточной линии HepG2). Для сравнения: согласно базе NextProt, в среднем для генома человека характерна величина $2,1 \pm 0,2$ сплайс-варианта на один ген. Более чем в 10 раз различаются показатели среднего количества SAP на один ген, рассчитанные на основе экспериментальных транскриптомных данных и метаанализа базы NextProt:

экспериментально в одном образце детектируется в среднем 1,4 SAP на один ген в клетках ткани печени (1,5 SAP — на один ген в клетках линии HepG2), а рассчитанное по информации NextProt значение составляет $22,1 \pm 3,9$ SAP-содержащих варианта на один ген. Можно предположить, что различия в оценке ширины популяционного и индивидуального протеомов обусловлены однонуклеотидными заменами, а не альтернативным сплайсингом. Скорее всего, полная инвентаризация всех транскриптов, содержащих однонуклеотидные замены, может оказаться принципиально недостижимой, так как каждый человек будет нести неповторяемый набор мутаций, добавляя новые варианты транскриптов и, как следствие, протеоформ.

Предлагаемый способ расчёта количества протеоформ может быть масштабирован для любой группы белок-кодирующих генов, в частности, генов, кодируемых определённой хромосомой, или генов, связанных с развитием какого-либо патологического состояния. Например, хромосомой 18 человека, исследуемой в России в рамках международного проекта “Протеом человека” [10], согласно расчётам по формуле (3) на основе данных NextProt, кодируется около 100 тыс. протеоформ.

Практическое значение оценки ширины протеома — это создание специализированных библиотек сигнатур протеоформ с целью анализа данных, полученных с помощью масс-спектрометрии. В отличие от панорамной масс-спектрометрии применение направленных масс-спектрометрических методов не позволяет обнаружить протеоформы, на которые не настроен прибор, то есть последовательность протеотипического пептида искомой протеоформы должна быть указана непосредственно перед постановкой эксперимента [11].

Наиболее надёжным способом получения информации о вариантах альтернативного сплайсинга и одноаминокислотного полиморфизма в определённом типе биоматериала является анализ результатов транскриптомного секвенирования образца. Предсказанные посттрансляционные модификации могут быть откартированы на найденные в результате секвенирования сплайс- и SAP-содержащие фрагменты последовательности пептидов. В то же время пептид протеоформ в ряде случаев теряет привязку к одному гену — протеотипичность. Например, сплайс-форма пептида с SAP может представлять собой пептид для белков, кодируемых разными генами. В этой ситуации исследование протеоформ требует перехода от геноцентричного способа исследования (в этом режиме может осуществляться прогнозирование теоретически возможного спектра протеоформ) к пептидоцентричному, при котором объектом исследования становится протеоформ-специфичный пептид.

Сколько видов белков может быть обнаружено?

Согласно базе данных Plasma Proteome Database (версия 06_2015), обнаружено 10,5 тыс. мастерных белков плазмы крови, из которых около 10% изменены количественно. Основной вопрос в области экспериментального подтверждения существования теоретически предсказанных белков связан с пределом аналитической чувствительности протеомных технологий. Аналитическая чувствительность, в свою очередь, зависит как от технических характеристик прибора, так и от концентрационного диапазона белков в биологическом материале.

Плазма крови представляет собой сложную, многокомпонентную смесь белков, динамический диапазон концентраций которых колеблется в пределах более 10 порядков [12]. Для сравнения: диапазон концентраций белков в тканях или клеточных линиях находится в пределах 7 порядков [13]. Проблема заключается в обнаружении низко- и ультранизкокопийных протеоформ с концентрацией $<10^{-12}$ М при условии наличия высококопийных молекул белков в концентрациях $>10^{-6}$ М [4].

Необходимо принимать во внимание, что результаты исследований транскриптома определяются на основе подсчётов копий молекул РНК, а не их концентраций. При использовании аналитических методов при низких ($<10^{-12}$ М) и ультранизких ($<10^{-15}$ М) концентрациях белков предполагается, что подсчёт количества белков в копиях (а не в концентрационных единицах) позволит сравнить результаты транскриптомных и протеомных экспериментов [14].

В протеомике количество белков обычно определяется, исходя из их концентраций в биологическом образце (C), выраженном в моль/л (молярность, М). Соответствующее количество копий белка (N) в 1 л можно рассчитать следующим образом:

$$N = C \cdot V / R_A, \quad (4)$$

$$C = m / Mw \cdot V, \quad (5)$$

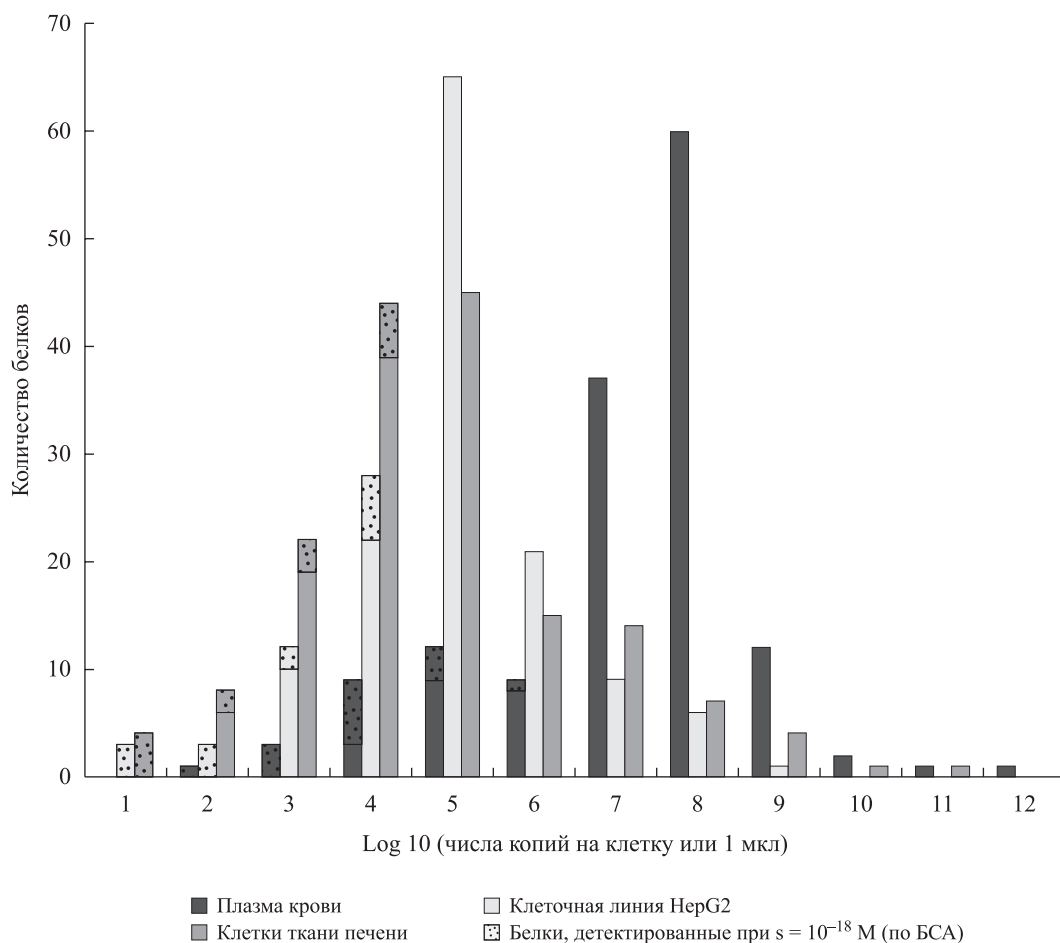
где R_A — обратное число Авогадро, 10^{-24} М [15]; V — объём образца; m — содержание белка; Mw — молекулярная масса белка.

Формулы (4) и (5) используются при решении основной проблемы протеомики — перехода от концепции использования единиц концентрации для определения количества белков до подсчёта единичных биомолекул в образце (ткани) [16].

Наиболее чувствительный протеомный метод — направленная масс-спектрометрия с использованием тройного квадрупольного масс-спектрометра (метод направленного мониторинга множественных реакций). Тройной квадрупольный масс-спектрометр позволяет в ряде случаев достичь с использованием

метода направленного мониторинга множественных реакций чувствительности обнаружения очищенных белков до 10^{-14} М [17]. Чувствительность можно в дальнейшем увеличить до 10^{-16} М за счёт включения стадии необратимого химического связывания белков из биологических образцов большого объёма [18]. При этом не все белки могут быть определены с такой чувствительностью, поскольку результаты измерений различаются на несколько порядков из-за различных физико-химических свойств протеотипических пептидов и наличия динамического диапазона других белков в биологических образцах.

Экспериментальные подходы к геноцентричному анализу глубины протеома были разработаны при создании протеомной карты хромосомы 18 человека [10]. Количество копий мастерных белков измеряли, используя двойную целевую стратегию (сочетание хромосомотцентричного подхода и направленной масс-спектрометрии) [6–8] в образцах плазмы крови человека, клетках ткани печени и клеточной линии HepG2. Измерения проводились согласно международным рекомендациям, при количественном анализе белкового состава в качестве стандарта принимая минимум один протеотипический пептид [19]. На рисунке представлена гистограмма распределения фракции мастерных белков, кодируемых хромосомой 18 и детектированных с использованием синтетических пептидов в качестве стандартов. Большая часть детектированных белков присутствует в количестве 10^5 копий в одной клетке печени или клеточной линии HepG2. Восходящая часть (менее 10^5 копий белка на одну клетку) может быть объяснена либо снижением вариабельности протеома в биологическом образце, либо тем, что находящиеся в низкой



Гистограмма распределения копийности белков, кодируемых хромосомой 18, в плазме крови человека, клетках ткани печени и клеточной линии HepG2, которые были детектированы методом направленной масс-спектрометрии с использованием синтетических пептидов в качестве стандарта

копийности белки нельзя обнаружить из-за недостаточной чувствительности аналитических методов, что более вероятно [20]. Нисходящая часть показывает количество в образце высоко- и среднекопийных белков ($>10^5$ копий на одну клетку).

Сопоставление транскриптомных и протеомных результатов исследования одного и того же образца на примере ткани печени человека показало, что на протеомном уровне метод направленной масс-спектрометрии (с использованием пептидов с изотопной меткой в качестве стандарта) детектирует только 31% белков, для которых в том же образце методами секвенирования нового поколения доказано наличие транскрипта (объединённые данные, полученные на платформах SoLID, Illumina, при уровне RPKM > 0). Не детектированы белки для 157 транскриптов, кодируемых на хромосоме 18 человека. Именно на поиск этих белков стоит в первую очередь направлять методы обнаружения, например, используя другие протеотипические пептиды [11].

Для сравнения: для 213 транскриптов, кодируемых генами хромосомы 18 человека и найденных в образце клеточной линии HepG2, методом направленной масс-спектрометрии (с использованием пептидов с изотопной меткой в качестве стандарта) детектировано только 62 соответствующих мастерных белка (29%); для 151 гена показано наличие транскрипта, но соответствующий транскрипту белок обнаружен не был.

Приведённые выше рассуждения свидетельствуют о необходимости комплексного транскрипто-протеомного исследования образцов. Анализ транскриптомных данных позволит определить количество возможных протеоформ в образце (ширины протеома) за счёт выявления сплайс-вариантов транскриптов или транскриптов с мутациями. Корректное определение глубины протеома – количественное измерение содержания каждой протеоформы в образце – невозможно без информации о том, какие именно гены экспрессируются в конкретном образце. Это может быть выяснено с помощью транскриптомного анализа. Кроме того, повышение чувствительности аналитических технологий будет способствовать доступу к ультранизкокопийным белкам и расширит возможности для их выявления и анализа.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 15-15-30041). Масс-спектрометрические данные получены с использованием оборудования УКП “Протеом человека”. Авторы благодарят сотрудников Центра “Биоинженерия” и ФНКЦ физико-химической медицины ФМБА за проведение экспериментов по получению транскриптомных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Collins F.S., Lander E.S., Rogers J., Waterston R.H. Finishing the euchromatic sequence of the human genome // *Nature*. 2005. V. 50. P. 162–168.
2. Wilhelm M., Schlegl J., Hahne H. et al. Mass-spectrometry-based draft of the human proteome // *Nature*. 2014. V. 509. P. 582–587.
3. Kim M.-S., Pinto S.M., Getnet D. et al. A draft map of the human proteome // *Nature*. 2014. V. 509. P. 575–581.
4. Archakov A., Zgoda V., Kopylov A. et al. Chromosome-centric approach to overcoming bottlenecks in the Human Proteome Project // *Expert Rev. Proteomics*. 2012. V. 9. P. 667–676.
5. Ponomarenko E., Poverennaya E., Ilgisonis E. et al. The size of human proteome: the width and depth // *Int. J. Anal. Chem.* 2016. Article ID 7436849. P. 1–6.
6. Zgoda V.G., Kopylov A.T., Tikhonova O.V. et al. Chromosome 18 Transcriptome Profiling and Targeted Proteome Mapping in Depleted Plasma, Liver Tissue and HepG2 Cells // *J. Proteome Res.* 2013. V. 12. P. 123–134.
7. Ponomarenko E.A., Kopylov A.T., Lisitsa A.V. et al. Chromosome 18 transcriptoproteome of liver tissue and HepG2 Cells and targeted proteome mapping in depleted plasma: Update 2013 // *J. Proteome Res.* 2014. V. 13. P. 183–190.
8. Poverennaya E.V., Kopylov A.T., Ponomarenko E.A. et al. State of the Art of Chromosome 18-Centric HPP in 2016: Transcriptome and Proteome Profiling of Liver Tissue and HepG2 Cells // *J. Proteome Res.* 2016. V. 15 (11). P. 4030–4038.
9. Tyakht A.V., Ilina E.N., Alexeev D.G. et al. RNA-Seq gene expression profiling of HepG2 cells: the influence of experimental factors and comparison with liver tissue // *BMC Genomics*. 2014. V. 15. P. 1108–1116.
10. Archakov A., Aseev A., Bykov V. et al. Gene-centric view on the human proteome project: The example of the Russian roadmap for chromosome 18 // *Proteomics*. 2011. V. 11. P. 1853–1856.
11. Kusebauch U., Campbell D.S., Deutsch E.W. et al. Human SRMatlas: A Resource of Targeted Assays to Quantify the Complete Human Proteome // *Cell*. 2016. V. 3. P. 766–778.
12. Anderson N.L., Polanski M., Pieper R. et al. The human plasma proteome: a nonredundant list developed by combination of four separate sources // *Mol. Cell. Proteomics*. 2004. V. 3. P. 311–326.
13. Beck M., Schmidt A., Malmstroem J. et al. The quantitative proteome of a human cell line // *Mol. Syst. Biol.* 2011. V. 7. P. 549–556.
14. Schwanhäusser B., Busse D., Li N. et al. Global quantification of mammalian gene expression control // *Nature*. 2011. V. 473. P. 337–342.
15. Archakov A., Ivanov Yu., Lisitsa A., Zgoda V. AFM fishing nanotechnology is the way to reverse the Avogadro number in proteomics // *Proteomics*. 2007. V. 7. P. 4–9.
16. Lisitsa A.V. Molar Concentration Welcomes Avogadro in Postgenomic Analytics // *Biochem. Anal. Biochem.* 2015. V. 4. P. 4–7.
17. Sano S., Tagami S., Hashimoto Y. et al. Absolute Quantitation of Low Abundance Plasma APL1 β peptides at Sub-fmol/mL Level by CPM/MRM without Immunoaffinity Enrichment // *J. Proteome Res.* 2014. V. 13. P. 1012–1020.
18. Kopylov A.T., Zgoda V.G., Lisitsa A.V., Archakov A.I. Combined use of irreversible binding and MRM technology for low- and ultralow copy-number protein detection and quantitation // *Proteomics*. 2013. V. 13. P. 727–742.
19. Carr S.A., Abbatiello S.E., Ackermann B.L. et al. Targeted Peptide Measurements in Biology and Medicine: Best Practices for Mass Spectrometry-based Assay Development Using a Fit-for-Purpose Approach // *Mol. Cell. Proteomics*. 2014. V. 13. P. 907–917.
20. Lisitsa A.V., Poverennaya E.V., Ponomarenko E.A., Archakov A.I. The Width of the Human Plasma Proteome Compared With a Cancer Cell Line and Bacteria // *J. Biomol. Res. Ther.* 2015. V. 4. P. 1–4.

ОРГАНИЗАЦИЯ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ПЛАНИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНЫ

© 2017 г. В.И. Перхов^а, Д.С. Янкевич^б

^аОтдел медицинских наук РАН, Москва, Россия;

^бФедеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Москва, Россия

e-mail: perkhov@ramn.ru; yanson_d@mail.ru

Поступила в редакцию 20.10.2016 г.

В статье рассматриваются проблемы, связанные с использованием программных механизмов планирования фундаментальных медицинских научных исследований в условиях отделения управления научными ресурсами от управления научными исследованиями, а также сокращения бюджетного финансирования. Авторами обосновывается необходимость функциональной и управленческой интеграции научных медицинских учреждений, предполагающей единую систему научного поиска, планирования, создания и внедрения медицинских инноваций в практическое здравоохранение.

Ключевые слова: медицинская наука, планирование и финансирование научных исследований в области медицины и здравоохранения.

DOI: 10.7868/S0869587317070039

Стратегическая цель развития России — достижение уровня экономического и социального развития, соответствующего её статусу как одной из ведущих мировых держав. При реализации указанной цели необходимо учитывать современные вызовы, в числе которых усиление глобальной конкуренции, существенные технологические изменения, возрастание роли человеческого капитала как основного фактора экономического развития на фоне

замедления роста экономики, ориентированной на сырьевую модель [1]. Новые задачи нельзя решить без активизации широкого фронта фундаментальных и прикладных исследований, в том числе и в области медицинской науки. При этом следует иметь в виду, что государственные программы продолжают оставаться важнейшей формой планирования и финансирования научной деятельности в России, главным инструментом обеспечения инновационного развития страны [2, 3].

По данным Минфина России [4], суммарный объём финансирования из федерального бюджета научных исследований гражданского назначения в 2016 г. составил 306,9 млрд. руб. Эти деньги были распределены по 32 государственным программам (табл. 1). На научные исследования в области медицины и здравоохранения в рамках государственных программ “Развитие здравоохранения”, “Развитие фармацевтической и медицинской промышленности” планировалось израсходовать 35,6 млрд. руб., в том числе 28,7 млрд. — на прикладные и 6,8 млрд. — на фундаментальные (табл. 2). Указанные ассигнования были распределены по следующим ведомствам: Минздрав России — 15,2 млрд., Минпромторг России — 7,4 млрд., ФАНО России — 6,7 млрд., Минобрнауки России — 2,5 млрд., Федеральное медико-биологическое



ПЕРХОВ Владимир Иванович — доктор медицинских наук, заместитель начальника Отдела медицинских наук РАН.
ЯНКЕВИЧ Дмитрий Станиславович — кандидат медицинских наук, и.о. руководителя НИИ превентивной реабилитации ФНКЦРР.

Таблица 1. Бюджетные ассигнования по расходам федерального бюджета на прикладные и фундаментальные научные исследования в разрезе государственных программ (по данным Минфина России)

Название государственной программы	Сумма ассигнований, млрд. руб.		Коэффициент отношения суммы ассигнований (2017/2016 г.)
	2016	2017	
Социальная поддержка граждан	3908,2	4761,6	1,22
Развитие финансовых и страховых рынков, создание международного финансового центра	1 581,6	1 363,7	0,86
Обеспечение общественного порядка и противодействие преступности	1 010,8	855,9	0,85
Информационное общество	1 010,2	1 044,5	1,03
Развитие транспортной системы	885,9	798,1	0,90
Развитие здравоохранения	767,8	299,7	0,39
Космическая деятельность России	569,0	761,5	1,34
Содействие занятости населения	492,4	57,2	0,12
Развитие образования	461,6	501,0	1,09
Создание условий для эффективного и ответственного управления региональными и муниципальными финансами, повышения устойчивости бюджетов субъектов Российской Федерации	305,9	739,7	2,42
Развитие сельского хозяйства	237,4	215,9	0,91
Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций	186,8	177,3	0,95
Управление федеральным имуществом	161,7	23,0	0,14
Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности	161,1	149,1	0,93
Развитие науки и технологий	160,2	152,7	0,95
Развитие культуры и туризма	154,5	93,4	0,60
Развитие внешнеэкономической деятельности	141,4	226,7	1,60
Экономическое развитие и инновационная экономика	125,3	120,1	0,96
Развитие атомного энергопромышленного комплекса	88,7	79,2	0,89
Обеспечение качественным жильём и услугами ЖКХ населения России	75,2	108,9	1,45
Развитие физической культуры, спорта, туризма	70,3	88,7	1,26
Социально-экономическое развитие Дальнего Востока	70,0	17,9	0,26
Воспроизводство и использование природных ресурсов	58,3	50,1	0,86
Развитие авиационной промышленности	52,9	58,9	1,11
Доступная среда	38,6	47,4	1,23
Охрана окружающей среды	34,2	34,6	1,01
Развитие лесного хозяйства	29,1	27,5	0,95
Развитие фармацевтической и медицинской промышленности	16,3	11,6	0,71
Развитие Северо-Кавказского федерального округа	15,6	13,9	0,89
Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности	12,8	10,4	0,82
Развитие рыбохозяйственного комплекса	12,0	11,1	0,92
Энергоэффективность и развитие энергетики	10,6	8,0	0,75
Обеспечение государственной безопасности	2,0	1,7	0,88
Другие программы	208,5	574,5	2,76
Итого	13 116,7	13 485,6	1,03

Таблица 2. Бюджетные ассигнования по расходам федерального бюджета на прикладные и фундаментальные научные исследования в разрезе государственных программ (по данным Минфина России)

Название государственной программы	Сумма ассигнований, млрд. руб.		Коэффициент отношения суммы ассигнований (2017/2016 г.)
	2016	2017	
Прикладные научные исследования	196,30	236,78	1,21
Космическая деятельность России	32,43	106,19	3,27
Развитие науки и технологий	36,79	32,54	0,88
Развитие авиационной промышленности	36,84	25,07	0,68
Развитие здравоохранения	18,83	16,63	0,88
Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности	10,45	9,47	0,91
Развитие атомного энергопромышленного комплекса	8,68	8,13	0,94
Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений	—	6,41	—
Развитие фармацевтической и медицинской промышленности	9,83	6,26	0,64
Развитие образования	5,25	5,79	1,10
Экономическое развитие и инновационная экономика	5,85	5,71	0,98
Развитие рыбохозяйственного комплекса	3,51	3,33	0,95
Развитие сельского хозяйства	2,76	2,35	0,85
Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций	1,88	1,67	0,89
Охрана окружающей среды	1,45	1,51	1,04
Энергоэффективность и развитие энергетики	1,47	1,35	0,92
Обеспечение общественного порядка и противодействие преступности	1,04	0,96	0,93
Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности	6,27	0,77	0,12
Развитие транспортной системы	0,60	0,43	0,71
Развитие культуры и туризма	0,43	0,35	0,81
Развитие лесного хозяйства	0,36	0,34	0,94
Социальная поддержка граждан	0,30	0,31	1,02
Развитие финансовых и страховых рынков, создание международного финансового центра	0,30	0,29	0,97
Развитие физической культуры, спорта, туризма и повышение эффективности реализации молодёжной политики	0,28	0,25	0,90
Развитие внешнеэкономической деятельности	0,08	0,21	2,60
Воспроизводство и использование природных ресурсов	0,32	0,19	0,59
Содействие занятости населения	0,01	0,13	10,99
Управление федеральным имуществом	—	0,07	—
Информационное общество	0,16	0,04	0,28
Социально-экономическое развитие Дальнего Востока	0,06	0,01	0,17

Таблица 2 (окончание)

Название государственной программы	Сумма ассигнований, млрд. руб.		Коэффициент отношения суммы ассигнований (2017/2016 г.)
	2016	2017	
Доступная среда	0,01	0,01	0,49
Противодействие незаконному обороту наркотиков	0,06	—	—
Развитие судостроительной промышленности	9,68	—	—
Юстиция	0,22	—	—
Управление государственными финансами	0,08	—	—
Фундаментальные исследования	110,60	117,47	1,06
Развитие науки и технологий	94,15	101,43	1,08
Развитие образования	9,52	9,24	0,97
Развитие здравоохранения	6,88	6,81	0,99
Развитие культуры и туризма	0,05	—	—
Итого	306,90	354,26	1,15

агентство — 1,9 млрд., Роспотребнадзор — 1,8 млрд., Счётная палата Российской Федерации — 0,1 млрд., Минтруд России — 0,04 млрд. руб.

В 2016 г. суммарный объём финансирования государственных программ “Развитие здравоохранения”, “Развитие фармацевтической и медицинской промышленности” составлял 784,1 млрд. руб., или 5,9% от всего объёма бюджетных ассигнований на реализацию государственных программ, а в 2017 г. (по состоянию на 15.02.2017) снизился более чем в 2 раза (до 311,3 млрд. руб.), что составляет 2,3% от всего объёма бюджетных ассигнований на реализацию государственных программ [5]. При этом в 2017 г. по сравнению с предыдущим годом запланирован рост расходов федерального бюджета на реализацию таких государственных программ, как “Социальная поддержка граждан” — на 853,4 млрд. руб. (21,8%), “Космическая деятельность России” — на 192,5 млрд. (33,8%), “Создание условий для эффективного и ответственного управления региональными и муниципальными финансами, повышения устойчивости бюджетов субъектов Российской Федерации” — на 433,8 млрд. (240%), “Развитие внешнеэкономической деятельности” — на 85,4 млрд. (60,4%), “Обеспечение качественным жильём и услугами ЖКХ населения России” — на 33,7 млрд. руб. (44,9%). Также в 2017 г. запланирована реализация новых государственных программ Российской Федерации — “Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013–2030 годы”, “Реализация государственной национальной политики”, “Социально-экономическое

развитие Калининградской области до 2020 года”, “Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя на период до 2020 года” — с суммарным объёмом финансового обеспечения 285,8 млрд. руб.

В 2017 г. по сравнению с 2016 г. суммарный объём финансирования из федерального бюджета научных исследований гражданского назначения увеличился на 15,4% — до 354,3 млрд. руб. (по состоянию на 15.02.2017 г.). При этом рост расходов федерального бюджета на фундаментальные исследования составил 6,88 млрд. руб. (6,2%), на прикладные исследования — 40,48 млрд. (20,6%). Увеличение финансирования научных исследований произошло в основном за счёт более чем трёхкратного роста объёмов финансирования научных исследований в рамках программы “Космическая деятельность России” — с 32,4 млрд. до 106,2 млрд. руб.

Во всём мире сегодня приоритетны исследования в области биомедицины. В сложившейся структуре глобальной науки на статьи по медицине приходится около трети мирового потока публикаций [6, 7], что определяет структуру бюджетного финансирования науки в странах-лидерах. Например, Национальные институты здоровья США получают самые значительные объёмы средств по сравнению со всеми другими распорядителями бюджетов. Так, в 2014 г. из 58,8 млрд. долл., выделенных на гражданский сектор науки США, Национальные институты здоровья получили более половины — 32,0 млрд. долл. [8].

Таблица 3. Показатели плановых объёмов ассигнований средств федерального бюджета на фундаментальные медицинские научные исследования в 2016 г. в двух разных распоряжениях Правительства Российской Федерации

Наименование магистральных направлений научных исследований	Версия Программы от 3 декабря 2012 г. № 2237-р	Версия программы от 31 октября 2015 г. № 2217-р	% роста объёмов финансирования
Геномика, протеомика, постгеномные технологии	461,2	477,4	3,5
Изучение механизмов влияния окружающей и производственной среды на состояние здоровья человека	514,8	525,9	2,2
Инвазивные технологии	706,7	722,0	2,2
Исследование фундаментальных основ жизнедеятельности в норме и при патологии	922,4	960,0	4,1
Медицинские клеточные технологии	230,6	240,0	4,1
Новые технологии формирования здорового образа жизни	625,9	639,4	2,2
Проблемы охраны здоровья матери и ребёнка	282,7	288,8	2,2
Фармакологическая коррекция процессов жизнедеятельности	691,8	720,0	4,1
Фундаментальные и прикладные исследования по проблемам инфекционной эпидемиологии	494,5	505,4	2,2
Фундаментальные и прикладные проблемы онкологии	403,8	412,5	2,2
Итого	5334,4	5491,3	2,9

В России в 2016 г. на научные исследования в рамках государственных программ, связанных с медициной и здравоохранением (“Развитие здравоохранения”, “Развитие фармацевтической и медицинской промышленности”), было запланировано всего 11,6% от суммы средств федерального бюджета на гражданский сектор науки, и эти ассигнования распределились по восьми ведомствам. В 2017 г. на научные исследования в области медицины и здравоохранения планируется израсходовать 29,7 млрд. руб., в том числе 22,89 млрд. — на прикладные и 6,81 млрд. руб. — на фундаментальные. Таким образом, произошло снижение планового объёма ассигнований федерального бюджета на научные исследования в этой важнейшей области как в абсолютном (на 5,85 млрд. руб., то есть на 16,4%), так и долевым выражении от суммарного объёма финансирования исследований гражданского сектора науки — с 11,6% в 2016 г. до 8,4% в 2017 г., или на 3,2 процентных пункта.

Существует Программа фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг. (далее — ПФНИ ГАН), которая

также предполагает ассигнования федерального бюджета на научные исследования в области медицины. Однако эта программа не вошла в перечень государственных [9], поэтому финансировалась по другим программам, имеющим такой статус.

До 2013 г. крупнейшими исполнителями Программы академий наук выступали РАН и её региональные отделения (бюджет 2013 г. — 55,0 млрд. руб.), РАМН — 4,9 млрд. и РАСХН — 7,3 млрд. руб. На медицинские научные исследования в учреждениях РАМН в 2013 г. было выделено 7,2% всех расходов трёх государственных академий, что уступает расходам на физические науки (19,0% от суммарных расходов на фундаментальные исследования), науки о Земле (15,0%), биологические науки (13,9%), химические науки и науки о материалах (11,3%).

13 марта 2015 г. в РАН состоялось заседание Координационного совета ПФНИ ГАН, на котором была одобрена новая редакция программы, а 28 октября того же года своим распоряжением её

утвердило Правительство Российской Федерации. В соответствии с этим документом общая сумма ассигнований на реализацию планов фундаментальных научных исследований в 2016 г. в академических научных организациях, перешедших в ведение ФАНО России, должна была составить 75,8 млрд. руб., из них на проведение фундаментальных научных исследований в медицинских научных организациях — 5,5 млрд. руб. [10]. Фактически же, согласно Федеральному закону от 14.12.2015 № 359-ФЗ “О федеральном бюджете на 2016 год”, сумма оказалась меньшей — 71,96 млрд. руб., и эти деньги доводились до научных учреждений ФАНО России в рамках других государственных программ, в частности “Развитие науки и технологий” (67,81 млрд. руб.), “Развитие здравоохранения” (4,1 млрд. руб.) и “Культура России” (0,05 млрд. руб.) [11].

Сравнение двух редакций программы показало, что структура расходов средств федерального бюджета на реализацию планов фундаментальных и поисковых научных исследований после корректировки не изменилась. При этом в 2016 г. в среднем на 3% были увеличены плановые объёмы ассигнований на фундаментальные медицинские научные исследования по каждому из магистральных направлений (табл. 3), но запланированные в ПФНИ ГАН объёмы финансирования этих работ далеко не полностью соответствуют возможностям оказавшихся в ведении ФАНО России научных организаций, находившихся ранее в ведении Российской академии медицинских наук. Например, единственный институт, профиль которого соответствует направлению “проблемы организации здравоохранения и медицинской науки” — Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья им. Н.А. Семашко, для финансового обеспечения государственного задания получил субсидии на сумму около 61 млн. руб. [12]. А объём финансирования данного направления, согласно ПФНИ ГАН, в том же 2016 г. составил 157,8 млн. руб., что более чем в 2 раза выше финансирования учреждения, которое в структуре ФАНО России фактически монопольно занимается проблемами организации здравоохранения и медицинской науки. Каковы же причины возникновения столь странной ситуации? Они в том, что государственное задание по этой тематике федеральное агентство реально может установить только одному учреждению, а не нескольким. В то же время не представляется возможным существенно увеличить финансирование конкретного учреждения, так как необъяснимо возрастут удельные затраты на единицу научной продукции, планировать которые необходимо начиная с 2017 г.

Дело в том, что в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 02.09.2010 № 671 “О порядке формирования

государственного задания в отношении федеральных государственных учреждений и финансового обеспечения выполнения государственного задания” при финансировании научных исследований нормативы затрат на протяжении ряда лет не менялись. Но с 1 января 2016 г. этот документ утратил силу в связи с вступлением в действие постановления Правительства Российской Федерации от 26.06.2015 № 640. Согласно указанному постановлению, начиная с 2017 г. нормированию подлежат затраты не только на государственные услуги, но и на работы. Так как научные исследования за счёт ассигнований бюджета в государственных научных учреждениях относятся к государственным работам, то объём творческой деятельности учёного должен быть измерен, нормирован и ему должна быть назначена цена в виде норматива затрат. Несмотря на то, что научно-исследовательский труд — это уникальный по своим характеристикам процесс и его практически невозможно регламентировать ни по времени, ни по затратам, существуют уже примеры попыток назначения такой цены.

В частности, в соответствии с приказом ФАНО России от 29.07.2016 № 38н “Об утверждении Порядка определения нормативных затрат на выполнение работ федеральными государственными бюджетными и автономными учреждениями, находящимися в ведении Федерального агентства научных организаций” нормативные затраты на выполнение учреждением работы по проведению фундаментальных научных исследований определяются по формуле, содержащей такие переменные, как “стоимость нормо-часа выполнения единицы работы по проведению фундаментальных научных исследований” и “количество часов, необходимое для выполнения научно-исследовательской работы по соответствующей теме”.

В 2016 г. средства федерального бюджета на научные исследования гражданского назначения были распределены по 32 государственным программам, при этом в государственной программе “Развитие науки и технологий” оказалось отражено 85% расходов бюджета на фундаментальные исследования (94,15 млрд. руб. из суммарных 110,6 млрд.) и лишь 18,7% расходов бюджета на прикладные научные исследования (36,8 млрд. руб. из суммарных 196,3 млрд.).

В 2017 г. средства федерального бюджета на научные исследования гражданского назначения распределены по 31 программе, при этом в государственной программе “Развитие науки и технологий” отражено 86% расходов бюджета на фундаментальные исследования (101,4 млрд. руб. из суммарных 117,5 млрд.) и 13,7% расходов бюджета на прикладные научные исследования (32,5 млрд. руб. из суммарных 236,8 млрд.).

Из всех программ научных исследований, реализуемых в стране, только ПФНИ ГАН содержит план расходования средств федерального бюджета по областям наук, направлений и тематик. В этой связи формирование перспективного облика фундаментальной науки, в том числе в области медицины и здравоохранения, в формате ПФНИ ГАН представляется нам безальтернативным. Парадоксально, но ПФНИ ГАН, являясь частью Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период [13], почему-то не входит в перечень государственных программ Российской Федерации, утверждённый распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.11.2010 № 1950-р. В результате ПФНИ ГАН, как уже упоминалось, финансируется в рамках других программ, имеющих статус государственных. При этом финансовые показатели ПФНИ ГАН не полностью соответствуют реальным объёмам финансирования главных распорядителей средств федерального бюджета — участников программы.

Временной горизонт ПФНИ ГАН (8 лет) недостаточен для ведения фундаментальных исследований и мог бы быть увеличен до 12–15 лет и более. Вместе с тем эта программа разрабатывалась и принималась Правительством Российской Федерации в соответствии со ст. 6 Федерального закона от 23.08.1996 № 127-ФЗ (ред. от 02.07.2013) “О науке и государственной научно-технической политике”. Указанный федеральный закон в редакции от 13.07.2015 уже не содержит нормы о необходимости принятия этой программы, поэтому жизненный цикл ПФНИ ГАН может закончиться уже в 2020 г.

21 марта 2017 г. под председательством главы государства В.В. Путина в Кремле состоялось заседание Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и приоритетным проектам. На этом заседании особое внимание было уделено вопросам развития здравоохранения. В своём выступлении Президент подчеркнул, что “главный критерий успеха всех проектов в сфере здравоохранения — значимые, осязаемые результаты, которых ждут люди: это точная и быстрая диагностика и действенное лечение, доброжелательное, человеческое отношение к пациенту, доступность, качество и эффективность лекарственных препаратов”. Успешное решение этих задач во многом связано с текущим состоянием и перспективами развития медицинской науки.

Вместе с тем следует отметить, что особенность современной ситуации не только в том, что после ликвидации Российской академии медицинских наук как структуры, создающей через подведомственные организации основной объём новых медицинских знаний и инноваций, возникла

неопределённость в вопросах планирования и развития медицинской науки. Реформа РАН привела к разрушению целостной системы отношений в науке, к отделению управления научными ресурсами от управления научными исследованиями, к разделению науки на культурную и технико-экономическую составляющие, сугубая рациональность и бюрократизм которой крайне негативно воспринимаются академическим сообществом.

За последние два года отмечается уменьшение объёмов финансирования из федерального бюджета государственных программ социальной направленности, в том числе в области здравоохранения, как в абсолютном, так и в долевым отношении. Несмотря на суммарное увеличение на 15% плановых ассигнований федерального бюджета на науку в 2017 г. в сравнении с 2016 г., расходы на прикладные научные исследования в рамках большинства государственных программ с высокой социальной значимостью уменьшились, включая программы “Развитие здравоохранения” (снижение на 12%) и “Развитие фармацевтической и медицинской промышленности” (снижение на 36%).

В странах, где формирование и исполнение бюджетов находится в центре финансовой политики, а социально-экономические программы служат инструментом воплощения экономической, социальной, научно-технической политики, наблюдается стремление к сопряжению бюджетов и программ, объединению финансового обеспечения и предметного программирования [14]. И в России, согласно перечню поручений главы государства по итогам заседания Совета при Президенте РФ по науке и образованию от 24 июня 2015 г., Правительством РФ начата работа по отражению в государственной программе “Развитие науки и технологий” на 2013–2020 гг. бюджетных ассигнований федерального бюджета и средств внебюджетных источников на научные исследования и разработки гражданского назначения, предусмотренных во всех государственных программах Российской Федерации [15]. Эта работа должна была быть завершена к концу 2015 г. Однако этого не произошло до сих пор. Бюджетные ассигнования федерального бюджета на научные исследования и разработки гражданского назначения распределяются по более чем 30 государственным программам разных отраслей.

Рассмотренные на примере медицинской науки вопросы и проблемы эволюции Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук также показали, что действующая система управления фундаментальной наукой чрезвычайно консервативна. Одновременно с этим осуществляются попытки формализовать процессы научного поиска и установить нормативы на процессы, связанные с выполнением

научно-исследовательского труда на рабочем месте, в то время как интеллектуальная деятельность чаще всего носит непрерывный характер. Поэтому считаем объёмное и финансовое нормирование времени труда учёного не только нелепым, но и вредным.

Также, по нашему мнению, требуют уточнения приоритеты в области медицинской науки, тематика научных исследований, статус и сроки жизни ПФНИ ГАН. Необходимы систематизация и обеспечение взаимосвязанности финансирования и предметного программирования научных исследований. Медицинская наука особенно чувствительна к ошибкам в планировании и настолько специфична, что отдельное существование в этой сфере ведомств с разными функциями неоправданно и даже вредно.

Актуальнейшей задачей является обеспечение целостности научно-технологического пространства страны, в том числе путём централизации принятия решений, касающихся вопросов формирования и реализации научно-технической политики. Необходима функциональная и управленческая интеграция научных учреждений, в том числе медицинских, в единую систему научного поиска, планирования, создания и внедрения инноваций в реальную экономику, практическое здравоохранение. Должна быть сформирована единая структура, которая бы определяла и при необходимости действенно корректировала направление развития науки, обеспечивала бы финансирование медицинских научно-исследовательских работ в рамках государственного задания. При этом центром внимания должны стать результаты интеллектуальной деятельности, а не процессы их создания. Приоритетная тематика исследований должна определяться не административным путём, а высококвалифицированными экспертами, в том числе с учётом реальных потребностей людей в сохранении и восстановлении здоровья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриевский А.Н., Мастепанов А.М., Бушуев В.В. Ресурсно-инновационная стратегия развития экономики России // Вестник РАН. 2014. Т. 84. № 10. С. 867–873.
2. Дежина И.Г. Механизмы государственного финансирования науки в России. М.: ИЭПП, 2006.
3. Колесников С.И. Использовать исторический опыт! // Инновации. 2006. № 3. С. 9–11.
4. Бюджетные ассигнования по расходам федерального бюджета на 2016 год. http://www.minfin.ru/ru/performance/budget/federal_budget/index.php (дата обращения 26.01.2016).
5. Бюджетные ассигнования по расходам федерального бюджета на 2016 год. http://minfin.ru/ru/performance/budget/federal_budget/budj_rosp/ (дата обращения 22.03.2016).
6. Стародубов В.И., Кузнецов С.Л., Куракова Н.Г., Цветкова Л.А. Представленность публикаций учёных РАМН в Web of Sciece: оценка текущих показателей и перспектив их увеличения // Вестник РАМН. 2012. № 9. С. 59–64.
7. Стародубов В.И., Куракова Г., Цветкова Л.А., Маркусова В.А. Российская медицинская наука в зеркале международного и отечественного цитирования // Менеджер здравоохранения. 2011. № 1. С. 6–20.
8. Стародубов В.И., Куракова Н.Г. Механизмы, приоритеты и объёмы финансового обеспечения научных исследований для здравоохранения в России и США // Менеджер здравоохранения. 2015. № 8. С. 37–48.
9. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11.11.2010 № 1950-р (ред. от 02.11.2015) “Об утверждении перечня государственных программ Российской Федерации”.
10. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.12.2012 № 2237-р (ред. от 31.10.2015) “Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы”.
11. Федеральный закон от 14.12.2015 № 359-ФЗ “О федеральном бюджете на 2016 год”.
12. План финансово-хозяйственной деятельности Федерального государственного бюджетного научного учреждения “Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья имени Н.А. Семашко”. <http://bus.gov.ru/pub/agency/146402/plans> (дата обращения 22.03.2016).
13. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.12.2012 № 2538-р (ред. от 28.10.2015) “Об утверждении Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2013–2020 годы)”.
14. Райзберг Б.А. Современное состояние и проблемы программно-целевого планирования и бюджетирования в России // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2012. Т. 3. № 2. С. 165–172.
15. Перечень поручений по итогам заседания Совета по науке и образованию при Президенте РФ, состоявшегося 24 июня 2015 г. (Пр-1369, п. 2-в). <http://www.kremlin.ru/acts/assignments/orders/50006#assignment-5> (дата обращения 22.03.2016).

СОВРЕМЕННАЯ МИРОВАЯ ВАЛЮТНАЯ СИСТЕМА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЁ ТРАНСФОРМАЦИИ

© 2017 г. Д.И. Кондратов

Институт экономики РАН, Москва, Россия

e-mail: dmikondratov@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.03.2016 г.

В статье предпринята попытка сформулировать концептуальные подходы к реформированию мировой валютной системы, которые определяют правила её функционирования и межгосударственного регулирования и учитывают уроки мирового финансово-экономического кризиса.

Ключевые слова: мировая валютная система, многовалютный стандарт, наднациональная мировая валюта, золото, режим валютного курса, Международный валютный фонд, мировой валютно-финансовый кризис, региональные валюты.

DOI: 10.7868/S0869587317070040

Многие эксперты сегодня полагают, что в ближайшие годы мировую валютную систему ожидают серьёзные изменения. Движущей силой станет нарастающее несоответствие её устройства, сложившегося в основных чертах в середине прошлого века и базирующегося на долларе США, новой расстановке сил в мировом хозяйстве. С одной стороны, США вследствие хронических проблем в экономике (главным образом из-за так называемого двойного дефицита платёжного баланса и федерального бюджета) располагают в настоящее время лишь ограниченными возможностями поддерживать лидирующие позиции своей национальной валюты на мировой арене. С другой стороны, в глобальной экономике появились новые крупные игроки, прежде всего страны Азии, чьи валюты значительно окрепли, однако на глобальном уровне пока практически не представлены. Устойчивость такой ситуации целиком определяется

готовностью центральных банков, в частности азиатских, накапливать свои резервы в долларах США и тем самым финансировать дефицит этой страны. Мировой финансовый кризис, который был спровоцирован кризисом финансовой системы США, начавшимся в 2007 г., ещё больше обострил проблему долларowego господства. Возможные пути и механизмы переориентации мировой экономики на мультивалютный стандарт, а также перспективы доллара США как резервной валюты рассматриваются ниже.

МИРОВЫЕ ДЕНЬГИ КАК ОСНОВНОЙ ЭЛЕМЕНТ ВАЛЮТНОЙ СИСТЕМЫ

Мировая валютная система в своём развитии прошла несколько этапов. Каждый из них характеризовался в первую очередь преобладавшей формой мировых денег — активов, использовавшихся для обслуживания международных экономических отношений в качестве признанной, в том числе на официальном уровне, меры стоимости, средства платежа и накопления (табл.). Функции мировых денег выполняло сначала золото, а затем различные национальные валюты, получившие название резервных, поскольку главным образом именно в них государства хранят свои международные резервы. Золото было признано основной формой мировых денег в ходе первой межгосударственной валютной конференции, состоявшейся в Париже в 1867 г. Однако в связи с ограниченностью запасов



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

Экономические функции резервных валют

Функция	Частный сектор	Государственный сектор
Средство обращения	Валюта платежа в международных контрактах	Инструмент валютных интервенций
Мера стоимости	Валюта цены в международных контрактах	Номинальный якорь денежно-кредитной политики
Средство сбережения	Валюта номинала финансовых активов	Валюта размещения официальных резервов

Источник: составлено автором по данным центральных банков.

монетарного золота, темпы прироста которых заметно отставали от динамики мировой торговли и рынков капитала, для осуществления международных расчётов и формирования резервов активно использовались векселя и другие платёжные инструменты, выписанные в валютах ряда ведущих государств.

История резервных валют — это прежде всего история крупнейших мировых держав. Завоевание страной передовых позиций в глобальном производстве, международной торговле и финансовом секторе, как правило, создавало надёжную основу для возвышения её национальной валюты, и наоборот, утрата государством экономического лидерства рано или поздно сопровождалась потерей валютной гегемонии. Ещё одним важнейшим фактором выдвижения валют на роль мировых денег выступала активная внешняя политика соответствующих государств, направленная на достижение доминирующего положения в валютной сфере. Эта политика могла включать самые разные меры экономического и политического характера, в том числе активное кредитование иностранных государств и компаний, содействие международной экспансии национальных банков, оказание прямого политического давления на другие страны с целью принуждения их к более активному использованию своей валюты.

Высокая заинтересованность государств в достижении валютного превосходства определяется значительными преимуществами, которые обеспечивает стране резервный статус её валюты. К таким преимуществам относятся: возможность покрытия дефицита платёжного баланса национальной валюты, заметное укрепление международных конкурентных позиций производителей и финансовых институтов страны-эмитента, масштабное увеличение притока иностранного капитала в национальную экономику и др. Превосходство в валютной сфере даёт и существенные политические дивиденды, поскольку все страны, использующие резервную валюту во внешнем и внутреннем обороте, в той или иной степени зависят от её стабильности

и, соответственно, благополучия выпускающего её государства. Данное обстоятельство, безусловно, способствует повышению лояльности по отношению к стране-эмитенту резервной валюты, нередко заставляет двигаться в фарватере её международной политики. Последним сегодня, в частности, активно пользуются США, для которых доминирование национальной валюты на глобальном рынке является не менее, если не более значимым орудием отстаивания своих геополитических и экономических интересов, чем накопленный военный потенциал. Американская валюта уже более 60 лет занимает лидирующие позиции на мировом рынке, вытеснив доминировавшие на начальных этапах развития мировой валютной системы золото и другие национальные валюты.

СТАНОВЛЕНИЕ ДОЛЛАРА США КАК ВЕДУЩЕЙ МИРОВОЙ ВАЛЮТЫ

Во второй половине XIX в. фунт стерлингов фактически превратился в полноценную альтернативу золоту. В английской валюте проводилось от 60 до 90% международных платежей и номинировалась большая часть мировых финансовых активов (рис. 1). При этом доля фунта в резервах центральных банков к концу XIX в. более чем в 10 раз превышала долю резервов в долларах США.

Доминирующее положение фунта стерлингов определялось в первую очередь большой ролью, которую играла Британская империя в конце XIX — начале XX в. в международной торговле, операциях с золотом и капиталами. Лидерство фунта не поколебало даже то обстоятельство, что уже в 1880-е годы США опередили Великобританию по размеру ВВП. Надёжность английской валюты, золотое содержание которой оставалось неизменным в течение 100 лет (с 1815 по 1914 г.), высокий авторитет британских банкирских домов, ведавших финансированием большей части международных торговых и инвестиционных сделок, обеспечивали фунту главенствующие позиции в валютной сфере вплоть до начала Первой мировой войны.

В период между двумя мировыми войнами расстановка сил в мировой валютной системе существенно изменилась. Хотя фунт стерлингов (во многом благодаря определённой инерции, свойственной глобальному рынку капиталов, а также значительному политическому влиянию Великобритании) смог сохранить положение главного международного платёжно-резервного средства, доллар США составлял ему всё большую конкуренцию. В частности, национальная валюта США вышла на второе место после фунта по доле в официальных мировых резервах. Повышению популярности доллара способствовал целый ряд факторов: быстрый рост американской экономики (её доля в глобальном ВВП достигла в 1929 г. 28%), стремительное наращивание официальных золотых резервов (если в 1914 г. США обладали 23% золотых запасов капиталистических стран, то в начале 1920-х годов — уже более 40%), бурное развитие банковского сектора и превращение Нью-Йорка в крупный мировой финансовый центр. Движение американской валюты к мировому лидерству затормозилось тяжёлым экономическим кризисом, развившимся в США в начале 1930-х годов и повлёкшим за собой значительную девальвацию доллара, а также отмену его обмена на золото для частного сектора.

Новый этап восхождения доллара связан с принятием в 1944 г. на валютно-финансовой конференции ООН в г. Бреттон-Вудсе (США) соглашения, определившего структуру послевоенной мировой валютной системы. В качестве официальных резервных активов были установлены золото, доллар и фунт стерлингов, но роль главной резервной валюты была отведена доллару. Для закрепления этого статуса США обязывались производить обмен доллара на золото для иностранных центральных банков по фиксированной цене 35 долл. за тройскую унцию. В свою очередь другие государства — участники соглашения — должны были устанавливать фиксированные курсы своих валют к доллару и поддерживать их с помощью интервенций.

Закреплённая Бреттон-Вудским соглашением американоцентрическая структура мировой валютной системы отражала ситуацию в глобальном хозяйстве, сложившуюся после Второй мировой войны. США стали безусловным лидером среди западных стран, намного опережая другие государства по экономическим показателям. Доля США в мировом ВВП в 1950 г. составляла 29% (доля Великобритании — только 6%), доля в мировом экспорте — 42,4%. США сосредоточили почти 75% золотых запасов капиталистических стран, в то время как серьёзно пострадавшие в ходе войны западноевропейские страны и Япония оказались в тяжёлом финансово-экономическом положении. Большинство

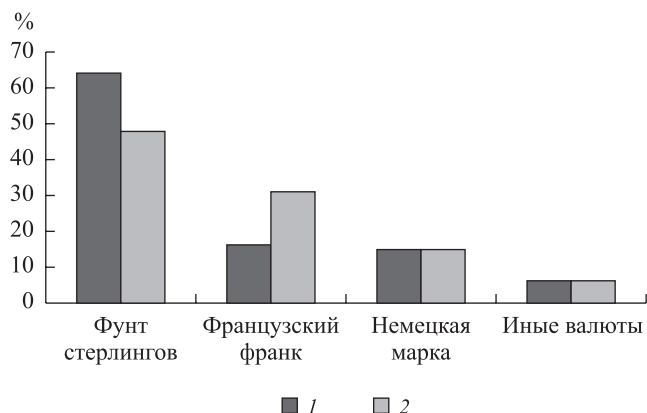


Рис. 1. Доля национальных валют в официальных валютных резервах, 1899 г. (1) и 1913 г. (2), %

Источник: составлено по данным Национального бюро экономических исследований США.

государств, включая Великобританию, в условиях острого дефицита платёжного баланса и истощения золотовалютных резервов были вынуждены ввести ограничения на конвертируемость своих валют, что существенно сокращало возможность их использования на мировой арене. В свете этого утверждение фунта наряду с долларом в качестве резервной валюты стало в первую очередь данью традиции и уважения к Великобритании как стране-победительнице, а не отражением её реальных экономических возможностей.

В 1950—1970-х годах была заложена прочная база для долгосрочного доминирования доллара США на глобальном рынке, однако уже с середины 1960-х годов в Бреттон-Вудской валютной системе стали нарастать кризисные явления. Они были вызваны несоответствием структурных принципов системы, закреплённых в соглашении 1944 г., и мирового экономического ландшафта, кардинально изменившегося за 20 послевоенных лет. Существенно укрепились экономика и финансовый потенциал западноевропейских государств и Японии, доля которых в глобальном экспорте выросла с 31,6 и 1,4% в 1950 г. до 41,6 и 4,9% в 1970 г. соответственно. Эти страны добились крупного положительного сальдо в торговле с США, что приводило к накоплению у них значительной долларовой массы. Торговые партнёры периодически пользовались правом обмена долларов на золото в Казначействе США, и это постепенно истощало его золотой запас. Весной 1971 г. ситуация достигла критической черты: американский торговый баланс впервые за послевоенный период был сведён с дефицитом, а золотой резерв приблизился к минимально допустимому уровню 10 млрд. долл. В этих условиях в августе 1971 г. США объявили о «временном» выходе из Бреттон-Вудских соглашений и отказе поддерживать свободный обмен долларов на золото. Это означало конец Бреттон-Вудской системы, основанной

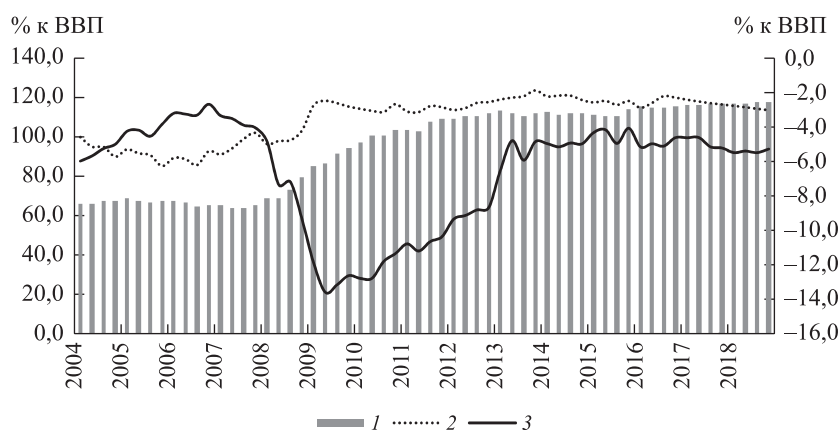


Рис. 2. Государственный долг, счёт текущих операций и бюджетный дефицит в США, 2000–2018 гг., % к ВВП

1 – государственный долг, левая шкала; 2 – счёт текущих операций платёжного баланса, правая шкала; 3 – бюджетный дефицит, правая шкала

Примечание. 2017–2018 гг. – прогноз.

Источник: данные ОЭСР (<http://stats.oecd.org/index.aspx?>).

на привилегированном положении доллара как имеющего официальный статус главной мировой валюты.

После этого страны перешли на плавающие валютные курсы. Мир вступил в эпоху денежной системы, основанной на “вере в доллар”, который сохранил статус мировой резервной валюты вплоть до наших дней (2/3 мировых валютных резервов). Главная поддержка доллару обеспечивалась всё это время странами Азии и ещё рядом развивающихся стран, осуществляющих политику накопления долларовых резервов в беспрецедентных масштабах с целью ослабить национальные валюты и повысить конкурентоспособность экспорта, а также сохранить приток капитала из-за рубежа.

ОСЛАБЛЕНИЕ ПОЗИЦИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДОЛЛАРА США

С начала 1990-х годов стоимость доллара стала постепенно снижаться, а с 2002 по 2014 г. он подешевел на 14,8% по отношению к евро и на 7,6% – к корзине валют основных торговых партнёров США. Это вызвало озабоченность многих стран по поводу существенного обесценивания резервов иностранной валюты, деноминированных в долларах.

Как отмечает Р. Манделл, аналитик газеты “Wall Street Journal”, “было бы ошибкой не замечать, что устойчивые (с середины 80-х годов) дефициты платёжного баланса США имели своим следствием превращение этой страны из крупнейшего мирового кредитора в крупнейшего должника... Тот факт, что американские доллары составляют

превалирующие объёмы запасов международных резервов, делает эту валюту подсадной уткой валютных кризисов... Опора на доллар как на главное средство государственной валютной политики, формирования резервов и расчётную единицу уже не является необходимостью” [цит. по: 1, с. 127]. Признак начинающегося заката доллара – заявления крупнейших международных организаций (ООН и МВФ) о необходимости отказа от доллара в пользу специально разработанной глобальной резервной валюты¹.

К усилению падения курса доллара в последние годы приводит, во-первых, увеличение дефицита США по балансу текущих платёжных операций, составившего в 2015 г. 463,0 млрд. долл., или 2,6% к ВВП

(рис. 2). Такая сумма дефицита означает, что страны – контрагенты США – для сохранения стабильного баланса в расчётах должны ежедневно затрачивать около 2 млрд. долл. на покупку номинированных в долларах американских активов (обычно казначейских билетов) или реинвестировать свои доходы в экономику США, или, наконец, обменивать доллары на отечественную валюту. До тех пор пока в США будет сохраняться дефицит такого масштаба, будет сохраняться и давление на доллар. Израильский аналитик Р. Хошен полагает, что экспоненциальный рост долга связан с амбициозной внешней политикой и консервативным управлением экономикой, когда воспроизводятся меры, принимавшиеся ранее (имеется в виду печатание денег как “топлива” для глобальной экономики) [2].

По мере роста дефицита платёжного баланса США и их госдолга спрос на американские долговые обязательства и валюту сокращался. В этих условиях многие центральные банки, особенно стран Юго-Восточной Азии, изменили свою стратегию – от накопления долларовых резервов перешли к их распродаже. Многие страны стали заключать совместные соглашения, базирующиеся на отходе от доллара в качестве основного средства международной торговли и платежей. Некоторые нефтедобывающие государства начали продавать нефть не за доллары, а используя другие валюты, что, по мнению аналитиков, представляет собой угрозу существовавшей на протяжении четырёх десятилетий системе нефтедолларов.

¹ <https://www.obozrevatel.com/finance/business-and-finance/mvf-hochet-otkazatsya-ot-dollar.html>.

Второй важный фактор — крупный дефицит бюджета США. Озабоченность экономистов вызывает не сам факт этого дефицита, а быстрые темпы его роста и неспособность американского правительства найти иные способы финансирования бюджетного дефицита, кроме заёмов за рубежом. Для сокращения дефицита бюджета требуется увеличить налоговые поступления, приостановить рост военных расходов, решить проблему финансирования быстро растущих социальных статей бюджета.

Тенденция к постепенному ослаблению курса доллара на мировом валютном рынке поддерживается также следующими факторами:

- появлением единой европейской валюты и активным размещением в ней средств центральных банков и международных частных инвесторов;
- уменьшением спроса на американскую валюту со стороны инвесторов из других развитых стран вследствие схлопывания “пузыря” в секторе высокотехнологичных компаний, спровоцировавшего в 2001 г. значительное падение американского фондового рынка, и последовавшего за этим резкого снижения процентных ставок в США (эти факторы привели, в частности, к формированию в 2002–2004 гг. отрицательного сальдо финансовых операций США со странами зоны евро);
- укреплении курса национальных валют ряда крупных развивающихся стран по отношению к доллару.

Таким образом, риск дальнейшего обесценивания доллара достаточно велик, что ставит под сомнение долгосрочную жизнеспособность существующей мировой валютной системы, основанной на вере в доллар. Однако наряду с факторами, объективно способствующими ослаблению доллара, имеется немало обстоятельств, которые позволяют утверждать, что никакого краха доллара в обозримом будущем не произойдёт и он сохранит статус ведущей мировой валюты.

Во-первых, в значительной девальвации доллара и демонтаже существующей мировой валютной системы не заинтересованы наиболее крупные и влиятельные участники международных финансово-экономических отношений — центральные банки развитых и развивающихся стран, транснациональные корпорации, международные банковские группы. Нарастание проблем с долларом привело бы к серьёзному обесцениванию долларовых активов, ускорению глобальной инфляции, сокращению производства и снижению занятости в ведущих экспортно-ориентированных экономиках, включая японскую и западноевропейские. В этой ситуации международные держатели долларовых активов оказываются заложниками доллара, заинтересованными в сохранении

его устойчивости. Для США это означает, в частности, готовность центральных банков других стран к осуществлению масштабных валютных интервенций в поддержку доллара. Кроме того, США располагают собственными значительными возможностями, позволяющими корректировать движение мировых финансовых потоков в свою пользу. По мнению ряда экспертов, для успешной конкуренции с другими странами за привлечение иностранных капиталов США не только обеспечивают привлекательные инвестиционные условия внутри страны, но и активно используют “стратегию управляемых кризисов”, не создающих системных рисков для мировой экономики, однако существенно ослабляющих конкурентов.

Во-вторых, в долгосрочной перспективе вложения в американские активы обещают большие доходы, чем вложения в активы стран-конкурентов. Американские рынки капиталов отличаются большей открытостью и эффективностью по сравнению с рынками других развитых стран. Имеют значение также структурные особенности американской экономики, такие как рост в последнее десятилетие доли США в общем объёме производства развитых стран, умеренная нестабильность делового цикла, уменьшение степени экономических рисков. Даже при падении курса доллара инвесторы могут в значительной степени компенсировать риск потери ликвидности за счёт продления срока вложений. США, следовательно, остаются ведущим глобальным субъектом предложения финансовых активов. Более того, как это на первый взгляд ни парадоксально, американский дефицит текущего платёжного баланса создаёт потребность многих стран в долларовой ликвидности, что формирует существенную и устойчивую особенность международной финансовой системы, основанной на долларе США.

В-третьих, в политике диверсификации золотовалютных резервов, проводимой центральными банками, до сих пор не произошло резкого поворота от доллара. Хотя в период 2000–2015 гг. прослеживается тенденция к сокращению доли доллара (с 71,5 до 64,2%) в пользу других валют — единой европейской и азиатских стран, детальный анализ данных не подтверждает тезис, что имеет место бегство от доллара. При этом необходимо учитывать большую роль колебаний обменного курса доллара. При формировании валютной корзины центральные банки предпочитают покупать дешевле и продавать дороже. В течение анализируемого периода доллар заметно обесценивался (за исключением 2002 и 2005 гг., когда его стоимость повышалась), поэтому банки покупали непропорционально больше долларов по сравнению с другими валютами. Аналогично этому в 2005 г., когда обесценился евро, именно единая европейская валюта стала объектом непропорционально больших закупок. Существенное значение имеет и долгосрочный

аспект в развитии тенденции. Если рассматривать изменение доли доллара в структуре инвалютных резервов с середины 1990-х годов (59,0%), то обнаруживается повышение этой доли к 2015 г. (63,8%).

В-четвёртых, ни одна из валют, даже забрав часть доли доллара США в официальных золотовалютных резервах, не сможет в среднесрочной перспективе заменить доллар в качестве мирового лидера. Главная причина — сложность преодоления устоявшихся позиций доллара как символа экономической и финансовой мощи США (*incumbent advantage*). Поэтому валюта-конкурент (или валюты) должна обеспечивать преимущества, значительно превосходящие преференции, которые даёт использование доллара. Вспомним, что и доллар сумел отобрать у британского фунта стерлингов статус ведущей резервной валюты лишь к началу 1940-х годов, хотя США обогнали Великобританию по основным показателям экономики и торговли уже к 1920-м годам. Американская экономика по-прежнему существенно превосходит экономики всех других стран (включая объединённую экономику стран зоны евро) по своим масштабам, эффективности и ещё целому ряду характеристик. Так, американский рынок корпоративных облигаций примерно в 3 раза превышает соответствующий рынок зоны евро и в 3,5 раза — рынок Японии, более того, он крупнее, чем все другие рынки, вместе взятые. Что касается американского рынка акций, то он в 2,5–3 раза превосходит рынки зоны евро и Японии. Подобные масштабы рынка делают оправданными вложения даже в рискованные активы.

В западной академической литературе появилось несколько работ, в которых на основе эконометрического подхода с использованием таких переменных, как масштабы экономики, уровень дохода, ликвидности финансовых рынков и др., вычисляются конкретные показатели изменения структуры официальных мировых резервов. Рассматривается несколько сценариев вытеснения доллара с позиций мирового гегемона. Так, уже сейчас серьёзную конкуренцию доллару составляет евро, вторая после доллара резервная валюта (доля в мировых официальных запасах — 20,0%). По мнению некоторых аналитиков, к которым присоединяется и бывший председатель Федеральной резервной системы США А. Гринспэн, евро в долгосрочной перспективе — к 2020 г. — сможет заменить доллар в качестве основной резервной валюты, если зона евро будет расширена, в том числе за счёт Великобритании, Швеции и Дании, а тенденция к обесцениванию доллара при этом останется устойчивой [3].

Согласно ещё одной точке зрения, вызов доллару будет брошен со стороны юаня или какой-либо другой азиатской валюты [4–6]. За последние полтора десятилетия ведущие развивающиеся страны сумели

существенно укрепить свой экономический потенциал, превратившись в новые полюсы роста мировой экономики. Быстрый рост экспортных доходов и иностранных инвестиций позволил 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 использовавшихся развивающимися государствами для поддержания устойчивости национальных валют и защиты внутреннего финансового рынка в условиях слабых платёжных балансов. Полная или частичная либерализация валютного законодательства обеспечила условия для интернационализации валют крупнейших развивающихся стран. Сегодня формируются международные рынки валют развивающихся стран, которые начинают применяться при организации трансграничного кредитования и эмиссии долговых ценных бумаг. Под влиянием растущей нестабильности валютной системы и усиливающейся волатильности курсов ключевых мировых валют наметилась, кроме того, тенденция к вовлечению денежных единиц развивающихся стран во внутрирегиональную, в том числе приграничную, торговлю.

При этом существующие масштабы использования валют развивающихся государств в международном обороте невелики и далеко не соответствуют возросшему вкладу этих стран в мировое производство и экспорт. Так, по данным Банка международных расчётов, совокупная доля валют России, Бразилии, Индии, Китая и ЮАР (страны БРИКС) в общем обороте глобального валютного рынка в 2016 г. составляла 3,0%, а общий вклад перечисленных государств в глобальный ВВП (по ППС в текущих ценах) оценивался в 30,8%.

Слабая интернационализация национальных валют развивающихся стран вызвана несколькими причинами. Сырьё, импортируемое указанными государствами, традиционно котируется в долларах США. Как следствие, национальные компании предпочитают оперировать с долларами, таким образом принимая 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, если обозначенные препятствия будут преодолены, следует ожидать значительного повышения роли национальных валют крупнейших развивающихся государств в обслуживании международной торговли и трансграничных потоков капитала.

Это позволит им занять заметное место в современной валютной системе, более соответствующее значению их стран в глобальной экономике.

ИНТЕРНАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ВАЛЮТ РАЗВИВАЮЩИХСЯ СТРАН: КИТАЙ И ИНДИЯ

Валютная политика КНР нацелена на всестороннюю поддержку национального экспорта, что обеспечивается прежде всего сохранением на протяжении многих лет заниженного курса юаня по отношению к валютам основных торговых партнёров. В частности, по оценкам сотрудников ОЭСР, курс юаня к доллару занижен в настоящее время на 20–25%. Такая валютная политика 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 её проведение препятствует интернационализации юаня и его широкому использованию в мировой торговле и финансах.

Опасаясь масштабного притока спекулятивного капитала в страну и усиления давления на курс национальной валюты, а также возможности создания неконтролируемого международного рынка юаня, способного при неблагоприятной внешней конъюнктуре подорвать внутреннюю финансовую стабильность, китайские власти сохраняют многочисленные ограничения по операциям с капиталом. Вместе с тем они предпринимают отдельные шаги по интернационализации юаня, в частности, путём вовлечения его в обслуживание торговли с сопредельными странами посредством заключения межгосударственных соглашений о взаимном обмене национальных валют. Юань уже стал основной валютой платежа в приграничной торговле Китая с Монголией, Вьетнамом, Мьянмой и Непалом. Всё шире он применяется и во взаимной торговле с Россией, Филиппинами и Южной Кореей. За три года (2011–2013) объём внешнеторговых операций, номинированных в юанях, вырос до 8% всего объёма китайского внешнеторгового оборота.

Ещё одним заметным шагом на пути интернационализации китайской валюты стало разрешение властей страны на проведение отдельных операций с юанем на территории Гонконга. Его резиденты могут теперь использовать китайскую валюту при осуществлении денежных переводов, проведении операций по банковским картам и открытии депозитов в местных банках. В свою очередь, китайские компании и банки получили возможность размещать на гонконгской бирже облигационные займы в юанях, что открыло путь для развития

в Гонконге рынка финансовых инструментов, номинированных в китайской валюте. Этот процесс может заметно ускориться после планируемого создания единой системы торгов акциями китайских компаний, обращающихся на гонконгской и шанхайской 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 форвардных контрактов в юанях в Гонконге и Сингапуре, среднесуточный оборот которого в 2013 г. составлял 30 млрд. долл., или почти половину оборота внутреннего валютного рынка Китая.

Ведущие позиции на рынке юаня после Гонконга по таким операциям, как банковские услуги, обменные валютные операции, эмиссия облигаций, предоставление займа и т.д., в настоящее время занимают Лондонский и Парижский финансовые центры. Глава Банка Франции К. Нуайе заявил о намерении Парижа развивать офшорный рынок юаня. Китайские внешнеторговые партнёры французских предприятий всё чаще предлагают проводить расчёты в юанях. И для этого у них есть веские причины. Прежде всего в условиях валютной либерализации курс юаня по отношению к доллару колеблется. Номинируя свои внешнеторговые контракты в юанях, китайские предприятия устраняют риск изменения валютного курса. Местные органы власти поддерживают международные расчёты в юанях различными способами, в частности, с помощью налоговых льгот, упрощения административных процедур и процедур расчёта по экспорту. Кроме того, платёжный цикл при операциях в юанях значительно укорачивается.

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, — изменении валютного курса, несоблюдении условий контракта и его аннулировании, транспортном риске, политическом риске. Последний, в частности, касается регулирования и прозрачности.

В Китае классические финансовые инструменты торговли, такие как товарные аккредитивы, используются достаточно широко. Будучи надёжным, понятным и относительно конкурентоспособным инструментом, они 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 финансовых партнёров сегодня появились новые возможности финансирования операций в Китае, в том числе финансирование всех

цепочек поставок (supply chain finance) и электронные счёт-фактуры.

На территории континентального Китая счёт в юанях может быть открыт для нерезидентов, но для этого необходимо получить специальное разрешение Государственного валютного управления КНР. Такой счёт должен быть предназначен исключительно для внешнеторговых операций. 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, предлагают разнообразные услуги и продукты, связанные с обменом валют, платежами, депозитами, ссудами, финансирование торговли.

Французские банки и китайские банки, базирующиеся во Франции, в настоящее время также предлагают европейским предприятиям услуги и продукты, позволяющие упростить расчёты по внешнеторговым контрактам в юанях. Например, предоставляются кредиты в юанях на срок 5–7 лет, эти средства могут использоваться на инвестиции в Китае или на оплату импорта. Благодаря подобным кредитам европейские предприятия меньше используют доллары и могут с большей гибкостью расходовать свои средства. В 2012 г. центральные банки КНР и Тайваня подписали соглашение о клиринговых расчётах в юанях. В феврале 2013 г. Великобритания получила преимущество первой из стран “Большой семёрки” подписать соглашение о валютном свопе (обмене) с Народным банком Китая. В марте 2013 г. Китай и страны зоны евро заключили своповое соглашение на 45 млрд. долл. 30 марта 2013 г. валютный своп был заключён 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. В результате появится возможность избежать использования долларовых резервов. В июне 2011 г. подписано соглашение о переходе к расчётам в национальных валютах с Россией. В качестве первого шага начались торги рублями на бирже в Китае и юаневые торги в Москве. Российский банк “ВТБ 24” с октября 2011 г. открыл вклады в юанях [7].

В целях повышения международного доверия к юаню Пекин увеличивает национальные резервы монетарного золота. По данным World Gold Council, накопленные запасы золота составляют 1054 т, что ставит Китай на шестое место в мире по этому показателю. Страна также стремится заложить институциональный базис своей глобальной валютно-финансовой политики в виде новых международных финансовых структур и продвижения

своих интересов в тех мировых финансовых институтах, где традиционно главенствуют США и страны Западной Европы (МВФ и Всемирный банк). Большое значение КНР придаёт формату БРИКС, в рамках которого предполагается создание Резервного фонда и Банка развития. Последний рассматривается как противовес МВФ и Всемирному банку и призван финансировать масштабные проекты в рамках БРИКС, снижать риски от потрясений в мировой экономике. Китай также нацелен на использование альянса с Бразилией, Россией, Индией и ЮАР как инструмента давления на развитые страны для повышения своего представительства в МВФ и Всемирном банке и включения юаня в корзину Специальных прав заимствования (СДР). На это прямо указывает пункт № 13 Этеквинской декларации, принятой по итогам V саммита БРИКС (2013 г.), в котором подписавшие декларацию государства призывают к реформе международных финансовых институтов (пересмотр квот в МВФ), а также к дискуссии о роли СДР в существующей международной валютной системе и о составе валют в корзине СДР.

МВФ 30 ноября 2015 г. признал китайский юань в качестве седьмой резервной валюты (помимо доллара США, евро, японской иены, фунта стерлингов, австралийского и канадского доллара). Однако отсутствие официальной позиции властей КНР о планах по либерализации валютного законодательства и будущей роли юаня в глобальной экономике даёт основания предположить, что его превращение в одну из широко используемых международных валют не входит в число первоочередных задач государственной политики Китая. По мнению специалистов Банка международных расчётов и Резервного банка Австралии, китайские власти пока не рассматривают национальную валюту как инструмент внешнеэкономической экспансии, считая приоритетным сохранение жёсткого контроля за внутренним финансовым рынком. Тем не менее расширяющиеся торгово-экономические связи Китая с остальным миром и положительное сальдо по текущим операциям платёжного баланса будут, естественно, увеличивать использование юаня в мировой торговле и финансах.

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.

Так, резиденты 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 от завершения: сохраняются значительные различия в режиме валютного регулирования для компаний, банков и физических лиц, а также для отдельных видов операций с капиталом.

Рост индийской экономики, расширение торгово-экономических связей с остальным миром и участия страны в международном движении капитала способствуют увеличению объёмов валютных сделок с индийскими рупиями на внутреннем и внешнем рынках. Например, среднесуточные обороты на внутреннем валютном рынке возросли с 3,4 млрд. долл. в 2001 г. до 34,3 млрд. долл. в 2016 г., а быстрое расширение торговли рупией привело к более чем двукратному увеличению её доли в обороте мирового валютного рынка — с 0,2 до 0,5%. Валютная либерализация в Индии тесно увязана с успешным осуществлением реформ в банковском секторе, государственных финансах, на рынке ценных бумаг, а также с ростом внутренней финансовой стабильности. Индийские власти рассчитывают достичь полной конвертируемости рупии к 2018 г.

* * *

Экономическая нестабильность, возникшая в развитых странах, а затем охватившая всё мировое хозяйство, обострила вопрос о пределах доминирования доллара на международном валютном рынке. Возможны несколько сценариев развития событий. Сильное и продолжительное падение курса доллара может привести к падению доходности американских бумаг в единицах иностранной валюты и резкому падению спроса на них со стороны иностранных государств. В результате будет нанесён сокрушительный удар по американской финансовой системе. Учитывая роль США в мировой экономике, финансах и торговле, этот удар произведёт действие бумеранга на мировую экономику в целом. Однако, на наш взгляд, этот сценарий маловероятен.

Другой сценарий предполагает, что в свете заисковости многих стран от доллара как резервной валюты иностранные государства, прежде всего страны “Большой семёрки”, предпримут (а в действительности уже начали предпринимать) все возможные действия, направленные на поддержание курса доллара, с тем чтобы не допустить краха мировой финансовой системы.

Тем не менее уже сейчас представляется очевидным, что вялый экономический рост США обуславливает сохранение тенденции к ослаблению

позиций доллара как лидирующей валюты и к изменению финансовой архитектуры мира. Главный вызов, бесспорно, будет исходить от евро, который обладает многими преимуществами из тех, что присущи доллару, но при этом отличается меньшими рисками. Однако в способности служить средством накопления стоимости и удовлетворять потребность стран мира в ликвидности евро, похоже, ещё длительное время будет уступать доллару. Поэтому наиболее вероятным представляется такой сценарий развития валютных отношений, при котором ускорится процесс диверсификации официальных валютных резервов в направлении увеличения доли евро и других резервных валют и уменьшения доли доллара. Постепенно будет развиваться многополюсная финансовая архитектура мира. Соотношение валют во многом будет зависеть от глубины и длительности текущей экономической нестабильности в мировой экономике, а также от эффективности действий национальных правительств по её преодолению.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rajan R., Kiran J.* Will the Greenback Remain the world's Reserve Currency? // *Intereconomics*. 2006. V. 41. № 3. P. 124—141.
2. *Graff M., Bruneton A.* Les atouts de l'internationalisation du renminbi // *Rev. Banque*. P. 2013. № 757. URL: <http://www.revue-banque.fr/banque-investissement-marches-gestion-actifs/article/les-atouts-internationalisation-renminbi> (дата обращения 06.04.2017).
3. *Jen S.* Q&A on the Reserve Currency Status of the USD // *Global economic forum*. April, 21, 2008. P. 2. <http://www.morganstanley.com/views/gef/archive/2008/20080421Mon.html> (дата обращения 06.04.2017).
4. *Gao H., Yu Y.* Internationalisation of the Renminbi // *BoK-BIS Seminar*. Seoul. 2009. March 19—20. <http://www.bis.org/repofficepubl/arpresearch200903.05.pdf> (дата обращения 06.04.2017).
5. *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> (дата обращения 06.04.2017).
6. *McCauley R.* Renminbi Internationalisation and China's Financial Development // *BIS Quarterly Review*. 2011. December. P. 41—56.
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> (дата обращения 06.04.2017).

ПРОСТРАНСТВО ДРЕВНОСТИ: АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАМЯТНИКИ НА КАРТЕ РОССИИ

© 2017 г. Н.А. Макаров, О.В. Зеленцова, Д.С. Коробов, А.Н. Ворошилов

Институт археологии РАН, Москва, Россия

e-mail: nmakarov10@yandex.ru; olgazelentsova2010@yandex.ru;
dkorobov@mail.ru; voroshilov.aleksej@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.07.2016 г.

Статья посвящена результатам трёхлетней работы авторского коллектива по созданию первой отечественной археологической карты национального масштаба. Геоинформационная система «Археологические памятники России» содержит сведения о 15 367 объектах археологического наследия и 11 489 археологических шурфовках без признаков наличия древностей, которые получены из научных отчётов 2009–2012 гг. Данная выборка отражает размах ведущихся в последние годы археологических работ, пространственное распределение памятников археологии на территории страны, а также степень и пути освоения этих территорий в различные исторические периоды.

Ключевые слова: охрана археологического наследия, географо-информационные системы, базы данных, памятники археологии, архивные материалы, отчёты о полевых исследованиях, пространственный анализ.

DOI: 10.7868/S0869587317070052

Составление археологических карт обширных географических регионов на основе полного учёта имеющихся данных об археологических памятниках — одно из важных направлений изучения древнего и средневекового периодов истории. Такие карты рассматриваются, с одной стороны, как значимая составляющая пространственного видения древних культур и обществ, с другой — как актуальная форма систематизации данных об объектах наследия, позволяющая сохранять археологические древности. Карты необходимо постоянно совершенствовать в связи с увеличением числа археологических материалов, развитием методов их документирования и ГИС-технологий.

Большинство археологических карт и геоинформационных систем (ГИС), разработанных в России, ориентированы на интеграцию археологических материалов отдельных регионов в пределах, не превышающих территории нескольких субъектов РФ.

Авторы работают в ИА РАН. МАКАРОВ Николай Андреевич — академик РАН, директор. ЗЕЛЕНЦОВА Ольга Викторовна — кандидат исторических наук, научный сотрудник. КОРОБОВ Дмитрий Сергеевич — доктор исторических наук, заведующий отделом теории и методики. ВОРОШИЛОВ Алексей Николаевич — кандидат исторических наук, научный сотрудник.

Составление полномасштабной археологической карты России в разные периоды развития отечественной археологии включалось в перечень первоочередных задач, однако неизменно наталкивалось на труднопреодолимые препятствия. Они были обусловлены как неопределённостью методических принципов, положенных в основу сбора материалов, так и гигантским масштабом планируемой работы. Созданная в Институте археологии РАН в рамках проекта Российского научного фонда информационная система «Археологические памятники России» (АПР) включает более 25 тыс. записей об археологических памятниках и местах, затронутых археологическими разведками, и впервые даёт возможность представить картину пространственного распределения объектов археологического наследия, полученную по результатам корректного сбора первичных данных по единым методическим принципам в масштабах всей страны. В настоящей работе освещаются результаты анализа данных об археологических памятниках, охваченных полевыми изысканиями 2009–2012 гг., материалы которых полностью введены в АПР.

Обращаясь к истории составления сводов и карт археологических памятников, стоит напомнить, что первые такие попытки предпринимались

ещё Императорской археологической комиссией, приступившей в 1862 г. к учёту и статистике пунктов, “замечательных в археологическом отношении”, с привлечением для этого губернских статистических комитетов [1, с. 80–82]. Наиболее продуктивным начинанием в области сбора и учёта информации об археологических памятниках по стране в целом следует признать составление археологического раздела “Свода памятников истории и культуры народов России”, инициированное Министерством культуры СССР в 1970-е годы. Организатором систематического обследования областей и республик РСФСР и систематизации данных о памятниках археологии выступал созданный в 1972 г. в Институте археологии АН СССР сектор археологических сводов, который возглавлял выдающийся исследователь славяно-русских древностей академик В.В. Седов. В результате этой работы по единой форме было подготовлено более 42 тыс. паспортов на объекты археологического наследия [2, 3]. Однако выполнить программу в полном объёме не удалось. Ресурсы, выделенные для подготовки археологической части свода, оказались недостаточными не только для обследования всей территории страны, но даже для проверки и унификации уже накопленных к тому времени сведений об археологических памятниках. После прекращения централизованной работы по составлению “Свода памятников...” в 1991 г. проект был трансформирован в подготовку издания “Археологической карты России” (АКР), выпуски которой задумывались как полные каталоги объектов археологического наследия в регионах РФ, составленные на основе публикаций и отчётной документации о полевых археологических работах и паспортов на объекты наследия [4]. Подготовленные по 15 регионам РФ 29 выпусков АКР представили данные о 23 тыс. археологических памятниках [5, 6] и получили признание в профессиональной археологической среде как ценное научно-справочное издание. Однако концепция АКР не предполагала создания в обозримом будущем панорамной карты всей территории России, не была рассчитана на оперативный учёт сведений о вновь выявленных памятниках и не была ориентирована на точную фиксацию пространственных координат объектов археологического наследия и визуализацию этих данных.

Перспектива создания общей информационной системы, интегрирующей данные обо всей совокупности выявленных в настоящее время объектов археологического наследия, расположенных на территории РФ, связана с систематизацией аккумулированных в архиве Института археологии РАН материалов. В архиве собраны все отчёты о полевых археологических исследованиях, выполненных на территории страны начиная с 1945 г. Централизованная система сбора и хранения отчётных

материалов, полученных при проведении раскопок и разведок, сложилась в дореволюционной России вместе с учреждением в 1859 г. Императорской археологической комиссии и получила развитие при создании на базе комиссии Государственной академии истории материальной культуры и последующих преобразованиях археологических учреждений. Эта система даёт возможность интегрировать данные о каждом памятнике, обследование и раскопки которого велись на основе установленных законодательством разрешительных документов — Открытых листов. Действующее законодательство РФ предусматривает обязательную сдачу научных отчётов по всем проводимым в стране археологическим изысканиям в архив Института археологии РАН, обеспечивая широкий сбор первичной информации об археологической деятельности на всём пространстве России.

Концепция проекта “Археологические памятники России” основана на обращении в первую очередь к объектам, затронутым полевыми исследованиями в начале XXI в. Сведения о памятниках, охваченных раскопками и разведками в 2009–2012 гг., составляют первичное ядро всего массива данных, которое в дальнейшем будет наращиваться за счёт отчётных материалов предшествующих и последующих лет [7, 8]. Преимущество такой стратегии построения информационной системы заключается в том, что документация последнего десятилетия содержит точные координаты памятников, зафиксированные в системах глобального позиционирования. Обращение к этим материалам позволяет избежать серьёзных ошибок при определении местоположения памятников, по крайней мере на первых этапах введения данных в информационную систему. Стандарт описания памятника археологии в ГИС включает название объекта археологического наследия, его тип по принятой в археологии классификации памятников, двухуровневую хронологическую атрибуцию памятника, его культурную и административную принадлежность и принадлежность к речному/морскому бассейну, особенности микрорельефа, географические координаты и сведения об исследовании памятника.

АРХЕОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ПО ИТОГАМ ПОЛЕВЫХ РАБОТ 2009–2012 гг.

Количественные характеристики. Для большинства археологов, ведущих исследования тех или иных культур древности и Средневековья, “археологический памятник” — абстрактное понятие, принадлежащее скорее сфере сохранения наследия, чем лексике академической науки. Наука археология изучает не объекты археологического наследия, а конкретные типы и хронологические группы памятников — палеолитические стоянки, скифские

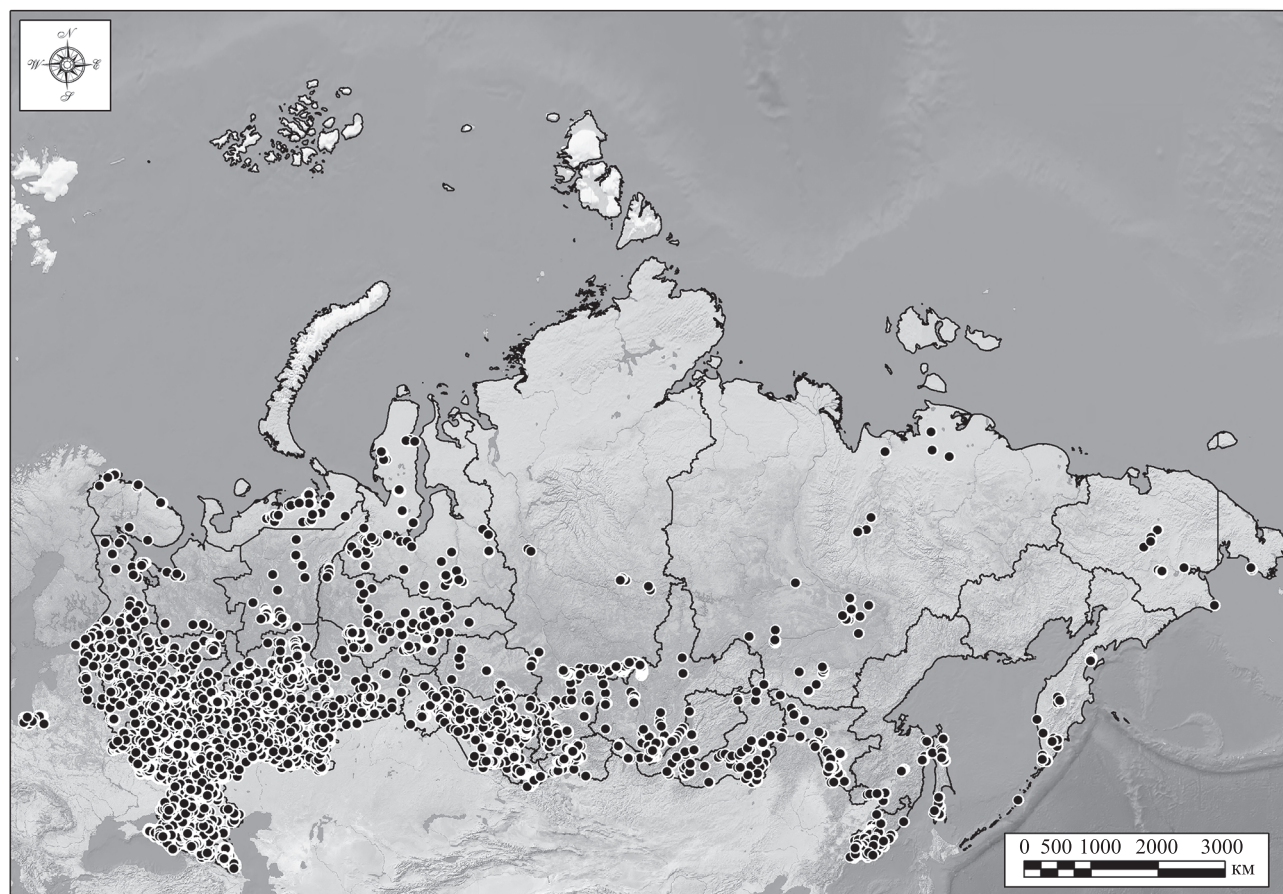


Рис. 1. Археологические памятники России всех исторических периодов, затронутые полевыми изысканиями в 2009–2012 гг.

курганы, античные города, сельские усадьбы, древнерусские селища. Статистическая обработка данных, предоставляющих довольно ограниченную информацию узкого хронологического фокуса и не предполагающих полной характеристики археологических памятников, воспринимается иногда как чисто прикладная, не преследующая более серьёзных научных целей задача. Однако статистический подход оказывается продуктивным для общего структурирования сведений об археологическом наследии России, оценки соотношения в нём различных хронологических пластов и основных типов памятников.

Сегодня в ГИС АПР внесены взятые из отчётов 2009–2012 гг. сведения о 15 367 объектах археологического наследия (рис. 1) и 11 489 археологических шурфах, не содержащих культурных напластований или каких-либо иных признаков наличия памятников древности на участках обследования. Введение этой информации в ГИС позволяет впервые получить общие количественные данные об археологических памятниках различных типов и хронологических периодов, охваченных в настоящее время полевыми работами в масштабах всей страны (82 субъекта РФ), об общем объёме и географии

этих работ и о пространственном распределении памятников. Вместе с тем, учитывая общий объём материалов, введённых в ГИС (см. рис. 1), можно предположить, что представленные данные репрезентативны в контексте общей характеристики археологического пространства России, прежде всего географического распределения объектов археологического наследия различных типов и периодов.

В большинстве субъектов РФ в 2009–2012 гг. было документировано от 100 до 200 точек, соответствующих археологическим памятникам или участкам с отсутствием следов археологических древностей. Распределение записей по федеральным округам (табл. 1) показывает, что по количеству выявленных и затронутых полевыми работами археологических памятников лидирует Приволжский округ (25% всех памятников), далее следуют Центральный (21%), Южный (16%) и Сибирский (16%) округа. Несколько иначе выстраивается распределение шурфов с отсутствием культурного слоя: наибольшее их число зафиксировано в Центральном округе (26% от общего количества), близкие показатели даёт Приволжский округ (24%), далее следуют Южный (16%) и Сибирский (13%)

Таблица 1. Распределение объектов археологического наследия (ОАН), исследовавшихся в 2009–2012 гг., по федеральным округам РФ

Федеральный округ	Количество ОАН	Доля ОАН, %	Площадь, тыс. км ²	Количество на 1 тыс. км ²
Дальневосточный	648	4	6169	0,1
Приволжский	3855	25	1036	3,7
Северо-Западный	1010	7	1687	0,6
Северо-Кавказский	531	3	170	3,1
Сибирский	2437	16	5144	0,5
Уральский	1106	7	1818	0,6
Центральный	3297	21	650	5,1
Южный	2483	16	416	6,0
Итого	15 367	100	17090	2,5

федеральные округа. Объединение археологической информации в рамках единой ГИС также даёт возможность сопоставить насыщенность различных регионов России археологическими памятниками (см. табл. 1). Наиболее высокая плотность зафиксирована в Южном округе — 5,9 на 1 тыс. км², близкое значение получено для Центрального округа — 5,0 на 1 тыс. км², более низкая плотность наблюдается в Приволжском округе — 3,7 на 1 тыс. км², а самые низкие значения — в Сибирском (0,5) и Дальневосточном (0,1) федеральных округах.

Ежегодно в 2009–2012 гг. полевые исследования в России проводились на 3400–4300

археологических памятниках. При этом всего в стране, по данным государственных органов охраны памятников субъектов РФ, переданным в Министерство культуры РФ, поставлено на государственный учёт около 133 тыс. объектов археологического наследия [9, с. 46]. В издании “Археологическая карта России” представлены данные о 23 тыс. памятников. В настоящее время число включённых в ГИС АПР объектов археологического наследия составляет примерно 12% всех известных памятников археологии, находящихся на государственном учёте, и более половины (67%) памятников, включённых в АКР. Таким образом, система охватывает существенную часть всей совокупности

Таблица 2. Распределение памятников археологии разных эпох по федеральным округам РФ

Федеральный округ	Каменный век	Энеолит	Бронзовый век	Ранний железный век	Средние века	Новое время
Дальневосточный	185 (10%)	2 (1%)	62 (2%)	153 (6%)	194 (5%)	33 (2%)
Приволжский	422 (23%)	74 (19%)	615 (23%)	553 (21%)	922 (24%)	205 (14%)
Северо-Западный	310 (17%)	56 (14%)	105 (4%)	77 (3%)	291 (8%)	150 (11%)
Северо-Кавказский	21 (1%)	2 (1%)	78 (3%)	69 (3%)	170 (4%)	7 (0,5%)
Сибирский	348 (19%)	16 (4%)	422 (16%)	644 (24%)	419 (11%)	80 (6%)
Уральский	185 (10%)	100 (26%)	236 (9%)	325 (12%)	196 (5%)	56 (4%)
Центральный	321 (17%)	60 (15%)	618 (23%)	413 (16%)	795 (21%)	758 (53%)
Южный	55 (3%)	82 (21%)	585 (21%)	414 (16%)	811 (21%)	133 (9%)
Итого	1847	392	2721	2648	3798	1422

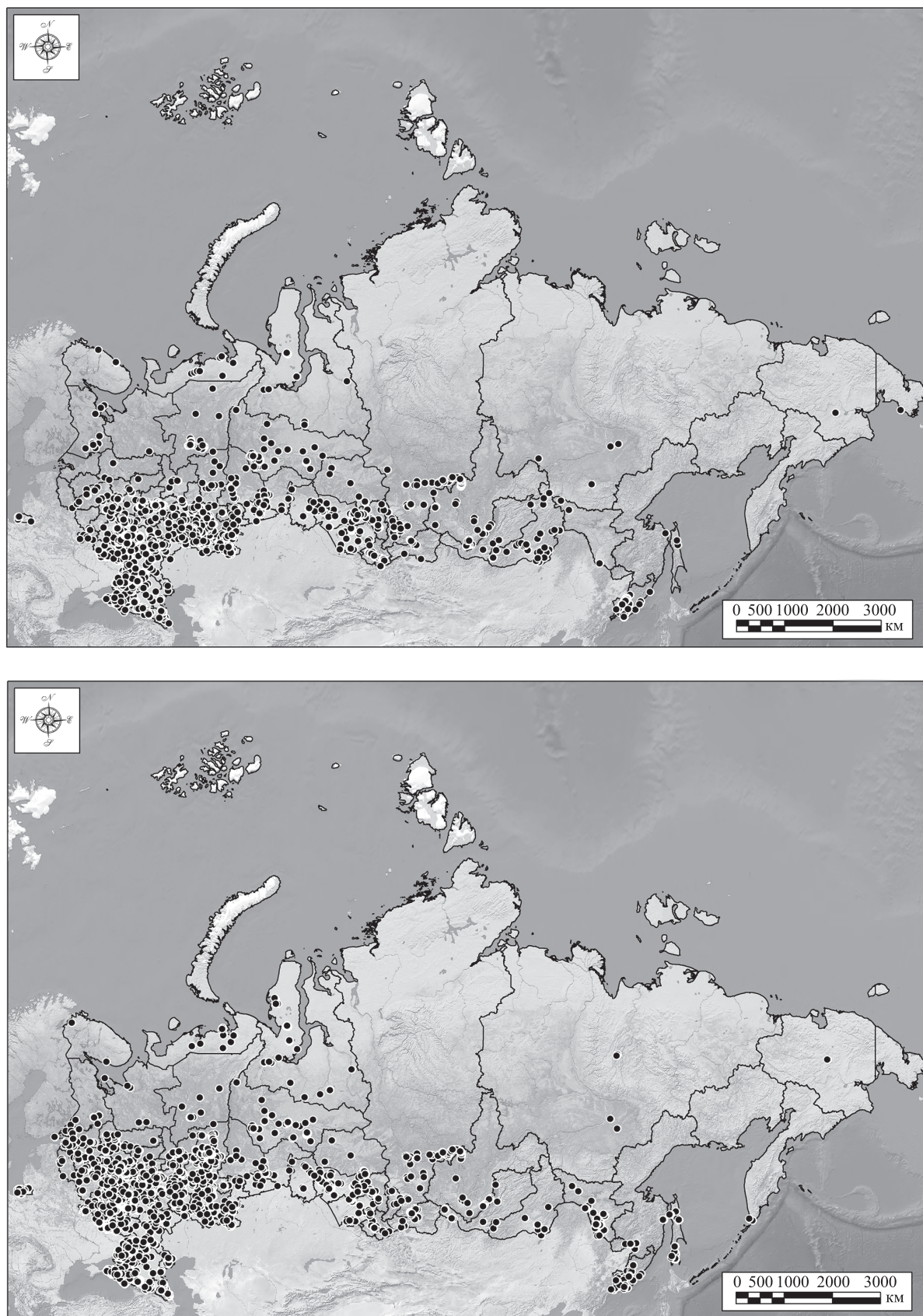


Рис. 2. Археологические памятники России, затронутые полевыми изысканиями в 2009–2012 гг.
Вверху – эпоха бронзы, внизу – эпоха Средневековья

археологических памятников России, сведения о которых содержатся в научно-справочной литературе или официальной документации.

Подсчёты, полученные на основании материалов, интегрированных в ГИС АПР, свидетельствуют о том, что последние годы стали временем быстрого накопления новой информации об объектах археологического наследия и, несмотря на географическую неравномерность археологической деятельности в нашей стране, её интенсивность высока, а пространственный охват широк.

Хронологическое распределение археологических памятников. Обратимся к географии памятников разных эпох, информация о которых накоплена в ГИС АПР (табл. 2). Памятников каменного века насчитывается 1847, большинство из них исследовалось в рассматриваемый период в Поволжье (23%) и Сибири (19%), значительное количество — на Северо-Западе и в Центральном регионе (по 17%). Меньше внимания археологи уделили стоянкам и местонахождениям каменного века на Урале, Дальнем Востоке, в южных регионах и на Северном Кавказе. Соотношение количества исследованных памятников каменного века на единицу площади крупных федеральных округов обнаруживает смену лидера. Наибольшая плотность памятников каменного века — 0,5 на 1 тыс. км² — в Центральном округе, Приволжском (0,4) и Северо-Западном (0,2), в остальных же регионах плотность подобных древностей составляет 0,1 памятника на 1 тыс. км² и менее.

Древности энеолита традиционно выявляются главным образом на юге России и на Северном Кавказе, в меньшей степени в лесной зоне. Большая часть энеолитических памятников приходится на Уральский, Приволжский и Южный округа. В последнем случае наблюдается и наивысшая концентрация древностей энеолитического периода на единицу площади (0,2), тогда как в остальных регионах она меньше и редко превышает 0,1 памятника на 1 тыс. км².

Памятников бронзового века, исследовавшихся в последние годы, насчитывается 2721 (рис. 2, сверху). Большая часть расположена в Приволжском и Центральном округах (по 23%), но самая высокая плотность памятников этой эпохи, в основном курганных могильников и поселений, наблюдается на юге России (1,4 памятника на 1 тыс. км²). Плотность этих древностей в Сибири невысока и сопоставима со значениями, полученными для Северо-Западного и Уральского регионов (0,1 памятника на 1 тыс. км²). На Северном Кавказе, напротив, при небольшом количестве изученных в последние годы памятников бронзового века (78 объектов) плотность их пространственного распределения

относительно высокая и достигает 0,5 памятника на 1 тыс. км².

Похожая картина получена при рассмотрении пространственного распределения памятников раннего железного века (см. табл. 2), наибольшее количество которых изучалось в Сибири (644) и Поволжье (553), где концентрация этих древностей достигает 0,5 памятника на 1 тыс. км². Близкая плотность наблюдается на Северном Кавказе (0,4) и в центральных областях (0,6), а на юге России она достигает 1,0 памятника на 1 тыс. км², хотя абсолютное количество изученных объектов практически одинаково для всех регионов (413–414). Наименьшая плотность распространения памятников раннего железного века фиксируется в Дальневосточном и Северо-Западном округах — менее 0,1 на 1 тыс. км².

Из 3798 памятников эпохи Средневековья (рис. 2, внизу) по 20% и более приходится на поволжские, центральные и южные регионы России, где наблюдается их самая высокая концентрация — от 0,9 до 1,9 на 1 тыс. км². В Сибири сосредоточено 419 памятников, изучавшихся в последние годы (11%), их плотность невысока и сопоставима со значениями Уральского и Северо-Западного округов. На Дальнем Востоке плотность распространения средневековых памятников наименьшая — 0,03 на 1 тыс. км².

Памятники Нового и Новейшего времени, интенсивно исследуются в Центральной России — 53% (1,2 памятника на 1 тыс. км²). В Приволжском, Северо-Западном и Южном округах плотность исследованных в 2009–2012 гг. объектов колеблется между 0,1 и 0,3 на 1 тыс. км², а на Дальнем Востоке, Урале, Северном Кавказе, в Сибири плотность археологических памятников нового и новейшего времени приближается к нулю, а в абсолютных числах не превышает 80.

КАРТИНА ПРОШЛОГО И МОНИТОРИНГ СОВРЕМЕННОЙ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Обращение к картам, основанным на материалах ГИС АПР, даёт ряд ярких примеров того, как географическое распределение археологических памятников оказывается в большей степени связанным с новейшей историей полевых исследований и особенностями организации работы по обеспечению сохранности объектов наследия в различных регионах, а не с их реальным расположением. Например, значительное количество археологических памятников (1922) и “пустых” шурфов на территории Тверской и Московской областей и Республики Башкирия (301 и 338 соответственно), выделяющееся на фоне окружающих областей, объясняется прежде всего более ответственным подходом региональных органов охраны памятников к сбережению

археологического наследия. Проводятся систематическая экспертиза земельных участков (Тверская и Московская области) и масштабная работа по инвентаризации объектов археологического наследия (Республика Башкирия). Малое количество археологических памятников и шурфов, не содержащих культурных напластований, в некоторых отличающихся высоким археологическим потенциалом регионах, таких как Псковская, Орловская и Астраханская области, Кабардино-Балкария или Мордовия, безусловно, свидетельствует о снижении археологической активности, отсутствии археологической экспертизы земельных участков при строительстве, недостатке ресурсов для проведения археологических работ.

Яркую картину современной археологической деятельности даёт картирование данных о пустых шурфах, образующих длинные цепочки на трассах протяжённых линейных объектов, дорог и газопроводов. Эти цепочки хорошо прослеживаются в Сибири и на Дальнем Востоке и не только отражают конкретную ситуацию обследования участков строительства больших инфраструктурных объектов, но и важны для оценки размещения памятников. Они убедительно показывают, что низкая концентрация археологических памятников в северных и северо-восточных регионах России во многих случаях основательно документирована разведками и не должна интерпретироваться как результат недостатка первичной информации об археологических ресурсах этих территорий. Однако при картировании отдельных категорий и хронологических групп памятников мы нередко сталкиваемся с более сложными ситуациями, когда география памятников отражает как явления исторического характера и историко-географические закономерности, так и современные процессы полевых изысканий и практику работ по сохранению наследия. Конкретизируем это общее утверждение на нескольких примерах.

Поселенческие и погребальные памятники. Археологические памятники России исключительно разнообразны по своему характеру, что открывает возможность для разделения их на категории и виды в зависимости от изначального функционального характера, региональной, хронологической и культурной специфики, особенностей культурных остатков, видимых в современном ландшафте и скрытых под землёй. Вместе с тем интеграция данных в единую базу потребовала не только учёта специфики археологических памятников, но и группировки их в крупные таксономические единицы (кластеры), которые позволяют представить общую структуру совокупности объектов, составляющих то, что мы называем археологическим наследием России. В качестве основных видов археологических памятников в ГИС АПР выделены

открытые поселения, города, городища, курганные могильники, грунтовые могильники, местонахождения и наскальные изображения. Каждый из этих видов объединяет различные по своему облику и хронологической принадлежности объекты, которые имеют значимые общие признаки, положенные в основу выделения видов.

Два основных вида памятников, исследовавшихся в последние годы в России, — это открытые поселения, то есть поселения без видимых на современной поверхности оборонительных сооружений (6470 объектов, 42% всех памятников), и курганные могильники, то есть погребальные памятники, отмеченные земляными или каменными насыпями (5723 объекта, 37% всех памятников). Совокупно памятники двух этих видов составляют 79% всех объектов археологического наследия, на которых производились полевые изыскания в 2009–2012 гг. Доля каждого из остальных видов не превышает 4% от общего количества, исключение составляют городища, доля которых достигает 6%.

Памятники, видимые в современном ландшафте и выявляемые по наличию обозначенных в современном рельефе погребальных сооружений, укреплений или древних изображений на камне, и памятники, которые не имеют внешних элементов, пригодных для их идентификации (если не рассматривать в качестве таковых выходы культурного слоя, обнажения или находящиеся на современной поверхности древние артефакты из переотложенных погребений и культурных напластований), составляют 44 и 51% от всей совокупности археологических объектов соответственно. Таким образом, хотя преобладание памятников второй категории не слишком значительно и прослеживается не во всех регионах, большая часть археологического наследия России представлена “невидимыми” объектами.

В ГИС АПР присутствуют записи о 7642 древних и средневековых поселениях и 6213 могильниках. На первый взгляд, эти цифры отражают примерно равное соотношение поселенческих и погребальных памятников. Однако более внимательное рассмотрение соотношения по отдельным регионам и хронологическим периодам вскрывает существенные диспропорции. Поселенческие памятники распределяются по территории России равномернее, чем погребальные, обнаруживающие более высокую концентрацию в южных регионах.

Погребальные памятники. Пространственное распределение курганных могильников характеризуется следующей неравномерностью: 59% (3369 объектов) всех обследованных в 2009–2012 гг. курганных могильников (5723 объекта) расположены в трёх федеральных округах — Южном, Приволжском и Северо-Кавказском (рис. 3). Курганные



Рис. 3. Курганные могильники всех исторических периодов, расположенные на территории России и затронутые полевыми изысканиями в 2009–2012 гг.

могильники составляют около 93% всех погребальных памятников, сведения о которых интегрированы в ГИС АПР. Между тем курганный обряд получил распространение далеко не на всей территории современной России и практиковался не во все исторические эпохи. Хотя древнейшие курганные могильники на территории России относятся к раннему бронзовому веку (майкопская культура), первоначальный ареал этих объектов был ограничен предгорьями Северного Кавказа, и лишь в середине III тыс. до н.э. курганный обряд широко распространился в степной полосе Евразии. В лесной полосе Европейской России он не был массово представлен вплоть до Средневековья, но и тогда практика сооружения надмогильных курганных насыпей была воспринята не во всех областях лесной зоны. Выгрузка на карту данных о курганных могильниках, обследованных в 2009–2012 гг., демонстрирует их концентрацию в южной части Европейской и Азиатской России, преимущественно в степной и лесостепной полосе, и менее плотное распространение в Европейской России, как на юге, так и в лесной полосе, вплоть до Ижорского плато, Поволжья и левобережья Волги (см.

рис. 3). Курганные могильники разного периода плотно покрывают практически всё пространство степной полосы Европейской России и значительные участки степной полосы Сибири. Редкая цепочка таких могильников на территории Пермской области и Республики Коми, вытянутая с юга на север, вплоть до Вычегды и Ижмы – притока Печоры, документирует распространение курганного обряда из лесостепи на север и крайние точки его бытования.

Из всего числа исследовавшихся в 2009–2012 гг. курганных могильников хронологической атрибуции поддаётся лишь около 40% – 2286 объектов. Из них 797 относятся к эпохе бронзы, 605 – к раннему железному веку, 884 – к эпохе Средневековья. В эти хронологические группы вошли некрополи с раскопанными курганами, содержащими датированные погребения, и погребальные памятники, имеющие характерные внешние признаки, указывающие на их принадлежность к той или иной эпохе. Курганы бронзового века исключительно широко распространены в Евразии от Байкала до лесостепных районов междуречья Дона и Днепра, концентрируются в Южном Приуралье, на Тамани,

в Приазовье, в нижнем и среднем течении Волги, в бассейне Дона, в том числе в его верховьях. Самые северные точки с курганными могильниками этого времени зафиксированы в Москворецком бассейне, в Посурье, Примокшанье и на Плещеевом озере. Ареал курганов железного века в целом имеет близкие очертания, если не считать некоторого сужения в центре Европейской России, где граница его немного отступает на юг. Наиболее значительные скопления курганных могильников раннего железного века обнаружены между Волгой и Уралом, в Южном Приуралье и на юге Западной Сибири. В средневековые ареал курганов вновь расширяется, охватывает лесостепную и лесную полосу Европейской России вплоть до Заволжья, Поволжья и Южного Приладожья.

Очевидно, что карта курганов, исследовавшихся в последние годы, отражает реальную географию распространения курганных могильников в Евразии и локализует основные очаги становления и воспроизводства курганного обряда погребения. Однако плотность размещения могильников на карте, фиксирующей их местоположение в европейской части России, не всегда показывает их реальную концентрацию и истинное соотношение между количеством могильников в различных областях. Так, плотность размещения курганных могильников на территории Московской (44 памятника) и Тверской (59 памятников) областей выделяется на фоне сопредельных областей, где такие памятники единичны или вовсе отсутствуют. Но эта диспропорция отражает не реальные пространственные параметры отдельных очагов распространения курганного обряда (хотя средневековые курганы, безусловно, представляют собой яркие элементы археологического ландшафта Москворецкого бассейна и Тверского Верхневолжья), а уже отмеченный выше более системный характер работ по сохранению археологического наследия, в том числе обязательное археологическое обследование в названных областях тех земельных участков, которые подлежат хозяйственному освоению. При столь же регулярной экспертизе земельных участков на территории Владимирской и Смоленской областей общая картина курганной географии была бы более ровной.

Грунтовых могильников в ГИС АПР зарегистрировано всего 490, в их географическом распространении, в отличие от распространения курганных некрополей, не прослеживается преимущественного тяготения к южным областям, хотя в Северо-Кавказском округе концентрация этих памятников самая высокая — 0,38 на 1 тыс. км². Наибольшее число грунтовых могильников было затронуто полевыми работами 2009–2012 гг. на территории Приволжского федерального округа, эти памятники составляют 30% от общей

совокупности (148 могильников). Хорошо известно, что грунтовые могильники, связанные с финно-угорскими культурами Поволжья и Прикамья, выделяются сложным погребальным обрядом и присутствием многочисленного погребального инвентаря. Опыт их обнаружения появился у археологов ещё во второй половине XIX в., и традиция их полевого изучения с того времени практически не прерывалась.

Бескурганные могильники, обследовавшиеся в рассматриваемый период, большей частью (444 объекта) хронологически атрибутированы. Памятники энеолита и бронзового века составляют около 14% всех грунтовых могильников, данные о которых содержатся в ГИС АПР, памятники железного века — 25%, памятники Средневековья и Нового времени — 54%. Это означает, что хронологическое распределение курганных некрополей и грунтовых могильников существенно различается, среди курганных некрополей доля памятников бронзового и железного века значительно выше.

Таким образом, соотношение поселенческих и погребальных памятников свидетельствует о значительном дефиците остатков древних и средневековых погребений в лесной полосе России. Этот дефицит может объясняться двояко: во-первых, существованием особых практик обращения с останками умерших, не предполагавших устройства могильников как особо выделенных участков или вообще не предполагавших сохранения останков в земле, во-вторых, пробелами в практике выявления и учёта погребальных памятников, места которых не отмечены наземными сооружениями. Сложности поиска грунтовых могильников хорошо известны большинству археологов, но масштаб дефицита информации при документировании подобных памятников осознаётся лишь при системном изучении значительного массива материалов, охватывающих большие по протяжённости территории. Вместе с тем анализ количественного соотношения курганных могильников и поселений эпохи бронзы и раннего железного века в лесостепи, степи и предгорных районах указывает на неполноту современных знаний о поселенческих памятниках юга России. И в этом случае правомерно говорить как о специфике возможных материальных свидетельств поселенческой активности, эфемерности её следов, обусловленной подвижным образом жизни в степях, так и о недостаточном внимании учёных к поселениям в археологических ландшафтах, насыщенных курганными могильниками, потенциал которых признан археологической наукой.

Городища и города. Появление укрепленных поселений обычно рассматривается в археологии как



Рис. 4. Городища (укреплённые поселения) эпохи бронзы, железного века, Средневековья и раннего Нового времени, расположенные на территории России и затронутые полевыми изысканиями в 2009–2012 гг.

индикатор усложнения социальной организации древних обществ, возникновения вожеств или военизации древних коллективов. Сегодня мы знаем, что формирование социальной иерархии и продолжительное существование древних обществ в условиях военной опасности далеко не всегда сопровождалось устройством укрепленных поселений. Тем не менее принципиальная связь между присутствием в сети расселения городищ и развитием властных отношений признаётся большинством исследователей [10–12].

В ГИС АПР представлены записи о 916 городищах. Этот тип поселений в целом широко распространён на территории России, в том числе на юге её европейской части, на Северном Кавказе, в Калининградской области, в Западной Сибири, преимущественно в южной её части, в Приморье (рис. 4). Более половины всех укрепленных поселений (54%, 492 объекта) находится на территории Приволжского и Центрального федеральных округов.

Древнейшие городища на территории России относятся к эпохе бронзы, укрепленные поселения этого времени исследованы, в частности, на

Южном Урале [13] и на юге Сибири [14–16]. Однако трудно выделить городища бронзового века в отдельную группу, используя записи в ГИС АПР, поскольку хронологическая атрибуция ряда укрепленных поселений в качестве памятников бронзового века требует серьёзной дополнительной проверки. Из 710 городищ, имеющих надёжную хронологическую атрибуцию, 307 относятся к раннему железному веку, а 403 – к Средневековью. Карта городищ железного века демонстрирует их распространение практически во всех перечисленных выше регионах. Сеть средневековых городищ отличается большей плотностью и простирается дальше на север.

Городских поселений, затронутых полевыми работами 2009–2012 гг., в ГИС АПР зарегистрировано 97. За исключением немногих античных городов на юге России, они относятся к Средневековью и раннему Новому времени. Идентификация поселений в качестве городских основывается не только на характере археологических материалов, но и на письменных источниках. На 78 памятниках присутствуют культурные напластования Средневековья, на 82 – напластования



Рис. 5. Городские поселения, расположенные на территории России и затронутые полевыми изысканиями в 2009–2012 гг.

Нового и Новейшего времени. Большая часть городских поселений располагается на территории трёх федеральных округов — Центрального, Приволжского и Северо-Западного (62, 12 и 11% соответственно). Сводная карта городских поселений средневековья и раннего нового времени показывает, что они преимущественно локализованы в центре Европейской России, при этом ареал городских поселений значительно уже ареала городищ (рис. 5). Пространственные рамки средневековой урбанизации, таким образом, значительно уже, чем зона социальных трансформаций раннего железного века — Средневековья, археологическим отражением которых стало формирование городищ.

* * *

Создание и наполнение ГИС АПР свидетельствует: интеграция в рамках единой геоинформационной системы данных об археологических работах недавнего времени, выполняемых в качестве научных проектов или связанных с текущими задачами сохранения археологического наследия в отдельных

регионах, при условии полного охвата территории России открывает реальную возможность формирования национального атласа археологических памятников. При надлежащем уровне сбора и анализа информации систематическое документирование археологических памятников в ходе экспертизы земельных участков, отведённых под строительство новостроек, создаёт основу для общего пространственного видения археологических древностей России. Уже сегодня, когда в ГИС АПР введены материалы, полученные в течение лишь четырёх лет полевых работ, анализ данных позволяет сделать ряд обобщений, которые касаются географии отдельных видов и хронологических групп археологических памятников, охвата новейшими полевыми исследованиями различных регионов и общего вектора развития полевых работ. Благодаря этим материалам можно уточнить и аргументировать некоторые базовые представления о древнем и средневековом расселении в Северной Евразии, которые до сих пор требуют проверки и статистического подкрепления.

Археологические карты, составленные на основании информации ГИС АПР, свидетельствуют

о значительной неравномерности географического распределения археологических памятников в Северной Евразии — более высокой плотности на юге и преимущественной концентрации в европейской части России по сравнению с Сибирью. Эти особенности географического расположения памятников не являются неожиданностью для археологов, однако карты показывают резкость контрастов, характеризующую практически все хронологические срезы. Почти 73% археологических памятников России, затронутых изысканиями 2009–2012 гг. (11 176 объектов), расположены к западу от Урала. Диспропорции невозможно объяснить лишь недостаточной обследованностью Сибири: информация о полевых работах 2009–2012 гг. и картирование шурфов, не выявивших археологических древностей, свидетельствуют о высокой археологической активности в восточных регионах России и о широком охвате разведками территорий к востоку от Урала. Закономерности пространственного распределения памятников различных эпох, безусловно, отражают исторические тенденции размещения населения, преобладание в воспроизводстве крупных очагов его концентрации на юге и в центре Европейской России, на юге Сибири.

Поскольку большую часть археологического наследия России составляют памятники, не отмеченные сохранившимися на поверхности остатками древних сооружений, их обнаружение требует специальных поисковых работ в обнажениях выходов культурного слоя, древних вещей и керамики. Преобладание “невидимых” памятников особенно заметно в центральных и северных регионах Европейской России. В отношении таких археологических объектов ГИС АПР фиксирует ожидаемую картину, однако численные данные позволяют яснее представить специфику археологического ландшафта центральных и северных районов, историческое содержание которого в основном скрыто от глаз. Они также способствуют осознанию ценности сравнительно немногочисленных археологических памятников, выраженных в рельефе (городища, курганы), актуальность их физического сохранения и превращения в объекты музейного значения.

Сводная карта курганных могильников (см. рис. 3) открывает присутствие в степном коридоре однотипных погребальных памятников, массово сооружавшихся в течение более чем четырёх тысячелетий — от эпохи бронзы до Средневековья. Значение степного пояса скотоводческих культур (носителей традиции курганного обряда) как особого исторического феномена, сыгравшего исключительную роль не только в военной истории Евразии, но и в распространении культурных инноваций и технологических достижений на огромных пространствах от Северного Причерноморья до Маньчжурии, получило достаточно подробное освещение

в археологических исследованиях последних лет [17, 18]. Известно, что не во всех регионах России курганная традиция погребений имеет степные истоки, в частности, древнерусский курганный обряд в лесной полосе Европейской России иного происхождения [19]. Однако при всех возможных поправках карта курганных некрополей, затронутых полевыми изысканиями 2009–2012 гг., впервые подробно документирует местоположение основных массивов курганов на всём пространстве между Байкалом и Днепровским левобережьем и в южной своей части ярко иллюстрирует культурную общность степного пояса.

Карта городских поселений, которые подвергались раскопкам в последние годы, позволяет яснее представить пространственные особенности урбанизации в эпоху Средневековья и раннее Новое время. Единственный заметный “сгусток” городских поселений, охваченных археологическими изысканиями, находится в центре Европейской России. Сеть городских поселений в Поволжье и на северо-западе Европейской России заметно реже, ещё реже — на юге этой зоны. К востоку от Урала встречаются лишь единичные городские поселения. Эта картина убеждает в справедливости традиционных для исторической науки представлений о слабой урбанизации юга и востока России в Средневековье и раннее Новое время, о немногочисленности и позднем появлении городов к югу от засечной черты и к востоку от Волги.

Таким образом, очевидно, что 25 тыс. точек, документирующих местоположение археологических памятников или их отсутствие и введённых в настоящее время в ГИС, ни в коей мере не должны рассматриваться как географическое приложение к справочнику о полевых работах последних лет. Эти данные фиксируют пространственные рамки исторической жизни на территории России в различные периоды и пространственное положение больших массивов археологических памятников. Пополнение в будущем информационной системы данными о памятниках, обследованных в течение более продолжительного периода, сделает археологические карты, создаваемые на основе ГИС АПР, более достоверными и надёжными источниками информации.

Работа выполнена в рамках гранта Российского научного фонда № 14-1803755.

ЛИТЕРАТУРА

1. Императорская археологическая комиссия (1859–1917). К 150-летию со дня основания. У истоков отечественной археологии и охраны культурного наследия / Отв. ред. Е.Н. Носов. СПб.: Дмитрий Буланин, 2009.

2. *Седов В.В.* Свод археологических источников // Вестник АН СССР. 1982. № 10. С. 136–142.
3. *Седов В.В.* Статьи по памятникам археологии // Указания по подготовке материалов Свода памятников истории и культуры народов РСФСР. М.: б/и, 1984. С. 109–117.
4. Археологическая карта России: Калужская область / Сост. Ю.А. Краснов. М.: Авто, 1992.
5. Археологическая карта России. Нижегородская область. Часть 3. М.: ИА РАН, 2013.
6. *Кашкин А.В.* Наш юбилей (К 40-летию Отдела археологических сводов и карт Института археологии РАН) // Российская археология. 2012. № 4. С. 184–186.
7. *Макаров Н.А., Зеленцова О.В., Коробов Д.С. и др.* Геоинформационная система “Археологические памятники России”: методические подходы к разработке и первые результаты наполнения // КСИА. 2015. Вып. 237. С. 7–19.
8. *Макаров Н.А., Зеленцова О.В., Коробов Д.С. и др.* Первые шаги по созданию национальной геоинформационной системы “Археологические памятники России” // Археология, этнография и антропология Евразии. 2015. Т. 43. Вып. 4. С. 85–93.
9. Государственный доклад о состоянии культуры в Российской Федерации в 2014 году. М.: Министерство культуры РФ, 2015. URL: <http://mkrf.ru/report/report2014/> (дата обращения 11.10.2016).
10. *Payne A., Corney M., Cunliffe B.* The Wessex Hillforts Project. Extensive survey of hillfort interiors in central southern England. Swindon: English Heritage, 2006.
11. *Armit I.* Hillforts at War: From Maiden Castle to Taniwaha Pā // Proceedings of the Prehistoric Society. 2007. V. 73. P. 25–37.
12. *Harding Dw.* Iron Age Hillfort Studies in Britain and Beyond. Oxford: Oxford University Press, 2012.
13. Multidisciplinary investigations of the Bronze Age settlements in the Southern Transurals (Russia) / Ed. by. R. Krause, L.N. Koryakova. Bonn: Habelt-Verlag, 2013.
14. *Молодин В.И., Парцингер Г., Гаркуша Ю.Н. и др.* Чича — городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи (первые результаты исследований). Т. 1. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2001.
15. *Молодин В.И., Парцингер Г., Гаркуша Ю.Н. и др.* Чича — городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи. Т. 2. (Материалы по археологии Сибири; Вып. 4). Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2004.
16. *Молодин В.И., Парцингер Г., Кривоногов С.К. и др.* Чича — городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи. Т. 3. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2009.
17. *Черных Е.Н.* Формирование Евразийского “степного пояса” скотоводческих культур: взгляд сквозь призму археометаллургии и радиоуглеродной хронологии // Археология, этнография и антропология Евразии. 2008. № 3(35). С. 36–53.
18. *Черных Е.Н.* Степной пояс Евразии: феномен кочевых культур. М.: Рукописные памятники Древней Руси, 2009.
19. *Седов В.В.* Восточные славяне в VI–XIII вв. М.: Наука, 1982.

ТОЧКА
ЗРЕНИЯ

О НЕКОРРЕКТНОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОНЯТИЯ “ТЕОРИЯ МИЛАНКОВИЧА” И ЕГО ВЛИЯНИИ НА РАЗВИТИЕ ОРБИТАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ПАЛЕОКЛИМАТА

© 2017 г. В.А. Большаков

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

e-mail: vabolshakov@mail.ru

Поступила в редакцию 22.08.2016 г.

В статье анализируется уникальная ситуация, сложившаяся вокруг наиболее известной и общепринятой версии орбитальной теории палеоклимата (ОТП) — теории М. Миланковича. Проблема заключается в чрезвычайном разнообразии понимания сути этой теории как разными авторами, так и одними и теми же исследователями в различные периоды их деятельности. Наиболее впечатляющим является тот факт, что у пяти авторов — лауреатов медали М. Миланковича — есть не только расхождения в понимании её сути, но и существенные возражения относительно ряда основных её положений либо даже сомнения в правильности палеоклиматической части теории, которая тем не менее практически повсеместно декларируется как основа ОТП. Такое положение сдерживает развитие корректной, математически строгой ОТП плейстоцена, создание которой будет способствовать лучшему пониманию механизма работы “климатической машины” Земли и, следовательно, более надёжному прогнозированию антропогенного воздействия на природную среду.

Ключевые слова: орбитальная теория палеоклимата, теория Миланковича, инсоляция, плейстоцен, оледенения, межледниковья.

DOI: 10.7868/S0869587317070064

Выдающемуся математику, философу и физику Рене Декарту принадлежит следующее высказывание: “Уточните значения слов, и вы избавите общество от половины заблуждений”. Справедливость этого наставления подтверждается наличием огромного количества словарей, которыми в течение многих веков пользуется человечество. Отсутствие точных определений отдельных понятий или явлений, особенно в научной сфере, вызывает как минимум недоумение. В случае понятия “теория Миланковича” (ТМ) отсутствует корректное и общепринятое определение, на что указывается в ряде публикаций [1–3]. Бытует довольно общее

утверждение, что теория Миланковича заключается в том, что “климат контролируется вариациями орбитальных параметров Земли” [4, р. 801], а иногда неожиданно констатируется: “Гипотеза Миланковича утверждает, что глобальный климат управляется солнечной радиацией, получаемой Землёй” [5, р. 267]. По-видимому, авторы статьи [5] никак не соотносят данное ими определение с тем известным фактом, что само слово “климат” происходит от древнегреческого “klima”, что означает “наклон” (земной поверхности к солнечным лучам). Иными словами, ещё за 2 тыс. лет до рождения М. Миланковича было известно, что распределение солнечной радиации определяет климатические условия на Земле, поэтому от “гипотезы Миланковича” логично ожидать чего-то более нового и конкретного.

Такое некорректное отношение к определению сути ТМ (а сам Миланкович, “согласно экспертам NASA... был одним из пятнадцати наиболее выдающихся учёных мира по наукам о Земле” [6, р. 197]) представляется странным. Более того, актуальность рассматриваемого нами вопроса возрастает и в связи с тем, что знание механизма климатических колебаний прошлого, несомненно, полезно



БОЛЬШАКОВ Вячеслав Александрович — доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

при прогнозировании будущих изменений климата, связываемых с антропогенным воздействием на природную среду. Поэтому, чтобы дать корректное определение этого понятия, обратимся непосредственно к публикациям М. Миланковича. Суть его теории достаточно понятно изложена в книге, опубликованной в 1930 г. на немецком языке [7] и переведённой на русский в 1939 г. под названием “Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата” [8].

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЁ СУТИ

В первой половине XIX в. было доказано, что Земля в прошлом подвергалась оледенениям. Для объяснения этого феномена было предложено множество теорий, но наиболее продуктивной оказалась орбитальная теория палеоклимата (ОТП) [1]. Поскольку орбитальную гипотезу ранее использовали Ж. Адемар [9], Дж. Кроль [10] и другие, теорию Миланковича можно считать одной из версий более общей орбитальной теории [1, 11]. (Заметим, что математически строгая ОТП ещё не создана.) Основа ОТП — гипотеза о связи глобальных климатических колебаний с вариациями так называемых “орбитальных параметров”, характеризующих положение Земли и её оси вращения в пространстве при движении по орбите вокруг Солнца. Этими орбитальными параметрами являются эксцентриситет (e) эллиптической орбиты Земли, наклон земной оси (ϵ) к перпендикуляру к плоскости движения Земли вокруг Солнца и представляющий климатическую прецессию индекс ($e \cdot \sin w$), где угол w — долгота перигелия относительно точки весеннего равноденствия (более подробно см. [1, 8]). Квазипериодические вариации орбитальных параметров приводят к изменению и (или) перераспределению приходящей к Земле солнечной радиации (инсоляции), которая и вызывает колебания климата.

Изменения эксцентриситета (главные гармоники имеют периоды около 400, 95 и 123 тыс. лет) вызывают колебания полной годовой инсоляции всей Земли, хотя эти колебания относительно невелики — менее 0.2% в 100-тысячелетнем цикле за последние 3 млн. лет. Если считать, что Земля имеет форму шара, то колебания угла наклона земной оси (основной период 41 тыс. лет) не влияют на приходящую к Земле в целом солнечную радиацию — они перераспределяют её по широтам и по сезонам симметрично в обоих полушариях. Увеличение угла ϵ повышает полную годовую инсоляцию высоких широт, но уменьшает годовую инсоляцию в низких широтах; уменьшение ϵ приводит к противоположному результату. Граница прироста и уменьшения инсоляции при колебаниях угла ϵ расположена вблизи широты 44° [8] обоих полушарий.

Наибольшие относительные изменения инсоляции при колебаниях угла ϵ происходят в высоких широтах; для них же хорошо выражены вариации сезонных контрастов инсоляции. При увеличении угла ϵ повышается летняя инсоляция и уменьшается зимняя, то есть сезонные контрасты увеличиваются. Соответственно, при уменьшении ϵ сезонные контрасты уменьшаются. Годовое изменение инсоляции при колебаниях угла наклона происходит потому, что изменения летней инсоляции превышают зимние. Особое климатическое значение инсоляции высоких широт определяется также тем, что в этих широтах велико влияние на инсоляционный сигнал альбедной обратной связи, обусловленной динамикой ледового и снежного покровов [1, 3].

Климатическая прецессия, или прецессия равноденствий (главные гармоники около 23 и 19 тыс. лет), приводит к смещению кардинальных точек земной орбиты (точки летнего и зимнего солнцестояния, весеннего и осеннего равноденствия) относительно осей эллипса орбиты. В свою очередь это ведёт к изменению сезонных контрастов инсоляции, причём годовое колебание прецессионной инсоляции равно нулю для любой широты, так как увеличение летней инсоляции компенсируется уменьшением зимней и наоборот. Прецессионные колебания инсоляции противоположны в разных полушариях и модулируются изменениями эксцентриситета. Вследствие прецессионного изменения сезонных контрастов инсоляции в полушарии день зимнего солнцестояния которого придётся на афелий (наиболее удалённая от Солнца точка орбиты планеты), будут наблюдаться климатические условия с длительной холодной зимой и жарким коротким летом, в соответствии с увеличенными контрастами инсоляции. В то же время в противоположном полушарии (с пониженными контрастами сезонной инсоляции) длительное прохладное лето будет сменяться мягкой короткой зимой. Различия в длительности зимы и лета будут тем больше, чем больше эксцентриситет орбиты Земли.

Считается, что орбитальная гипотеза палеоклимата была впервые опубликована Ж. Адемаром в 1842 г. [9] и объясняла существовавшие в геологическом прошлом оледенения, наличие которых было доказано в первой половине XIX в. Адемар связывал изменения климата с прецессией равноденствий и полагал, что оледенение наступит в том полушарии, день зимнего солнцестояния которого приходится на афелий. По мнению учёного, именно холодная продолжительная зима и есть причина оледенения в указанном полушарии. В другом полушарии в это время будет межледниковье. Подтверждение своей теории Адемар видел в оледенении Антарктиды, расположенной в полушарии, контрасты инсоляции которого соответствуют

именно длительной холодной зиме и жаркому короткому лету.

Однако Дж. Гершель и А. Гумбольдт [1, 10] не были согласны с представлениями Ж. Адемара. Они обоснованно отмечали, что средняя температура полушария определяется не соотношением длительности зимы и лета, а количеством калорий солнечной энергии, которое оно получает за весь год. А так как годовое количество солнечной энергии одинаково для каждого полушария и не зависит от прецессии, то нет причин для противоположных изменений климата (температуры) в этих полушариях. Соответственно, нет причин и для наступления оледенений в одном полушарии и межледниковий — в другом.

Два десятилетия спустя шотландский учёный Дж. Кролль обратился к орбитальной гипотезе Ж. Адемара в своей “Теории вековых изменений земного климата” [10]. Кроллю было известно мнение Гершеля и Гумбольдта, он понимал незначительность прямого воздействия орбитально обусловленных вариаций инсоляции на глобальный климат. Однако учёный полагал, что эти вариации могут суммироваться с некими физическими агентами, которые приведут к глобальным изменениям климата, в частности, к оледенениям, несмотря на противофазные (скомпенсированные) изменения, связанные с прецессией зимней и летней инсоляции. (Кролль, как и Адемар, считал, что оледенение наступит в полушарии с длительной холодной зимой.) Под физическими агентами Кролль подразумевал обратные связи, которые в цепочке “воздействующая причина — результат” взаимно усиливают друг друга. Таким образом, он первым рассмотрел влияние положительных обратных связей, активизирующих климатическое воздействие орбитально обусловленных вариаций инсоляции и трансформирующих указанные вариации в глобальные климатические изменения — оледенения и межледниковья. Также Кролль впервые сформулировал правильный механизм глобального климатического влияния вариаций наклона земной оси, который он всё же не учитывал в основной части своей теории, считая главным влияние прецессии.

Согласно теории Кролля, оледенения на Земле происходили в периоды больших значений эксцентриситета, когда контрасты инсоляции в одном из полушарий были особенно велики. В эти длительные промежутки времени попеременно, примерно через 10,5 тыс. лет (среднее время полупериода климатической прецессии), каждое из полушарий подвергалось оледенению, а именно то, в котором день зимнего солнцестояния приходился на прохождение Землёй афелия. В то же время в другом полушарии были, наоборот,

межледниковые условия. К концу XIX в. выявилось существенное несоответствие теории Кролля эмпирическим данным. Это послужило основной причиной отказа от неё. К сожалению, достижения Дж. Кролля тоже забылись. Не был оценён по достоинству главный, выдающийся его результат — открытие положительных обратных связей в климатической системе.

Известный сербский учёный М. Миланкович приступил к исследованиям на полвека позже Дж. Кролля. Проанализировав работы своих предшественников, Миланкович [8] пришёл к необходимости математически строго рассчитать связанные с вариациями всех трёх орбитальных элементов изменения приходящей на верхнюю границу атмосферы Земли солнечной радиации. На основе этих расчётов он уже смог развивать астрономическую теорию колебаний климата. Таким образом, главная отличительная особенность теории Миланковича от других версий орбитальной теории, направленных на объяснение существования в геологическом прошлом оледенений, — это не то, что он связал глобальные изменения с орбитальными вариациями (причём, как ошибочно считают многие, якобы первым высказал орбитальную гипотезу), а то, как он это сделал. При проведении расчётов Миланкович учитывал зависимость инсоляции от двух основных факторов — расстояния от Солнца и угла падения солнечных лучей на рассматриваемую поверхность Земли. Два этих фактора менялись, естественно, не только при вариациях орбитальных элементов, но и при изменении географической широты места, времени суток и сезонов года, в процессе вращения Земли вокруг своей оси и при её обращении вокруг Солнца.

Вычисляя полугодовые изменения инсоляции на отдельных географических широтах, Миланкович получил, что изменения инсоляции, связанные непосредственно с вариациями эксцентриситета (пропорциональные $\frac{1}{\sqrt{1-e^2}}$), много меньше соответствующих изменений инсоляции, обусловленных вариациями двух других орбитальных элементов. Поэтому он, как и его предшественники, пренебрёг непосредственным эксцентриситетным вкладом в общие колебания инсоляции, связанные с орбитальными вариациями, и учитывал эксцентриситет только как фактор, модулирующий прецессионные вариации. Следовательно, в инсоляционных кривых Миланковича отсутствует эксцентриситетная составляющая, которая характеризуется главными гармониками с периодами около 100 и 400 тыс. лет. С целью вычисления вариаций инсоляции (инсоляционных

кривых) для летнего (ΔQ_s) и зимнего (ΔQ_w) калорических полугодий Северного полушария (относительно эпохи 1800 г.) использовались следующие формулы [8, с. 137]:

$$\Delta Q_s = \Delta W_s \times \Delta \epsilon - m \times \Delta(e \times \sin \omega), \quad (1)$$

$$\Delta Q_w = \Delta W_w \times \Delta \epsilon + m \times \Delta(e \times \sin \omega), \quad (2)$$

где ΔW — зависящие от широты вариации солнечной радиации при изменении наклона земной оси $\Delta \epsilon$ на 1° ; m — множитель, зависящий от широты; ω — долгота перигелия земной орбиты относительно точки весеннего равноденствия. Из приведённых формул видно, что прецессионные годовые изменения радиации для *любой широты* (сумма вторых слагаемых в правых частях формул) равны нулю, что уже отмечалось выше. Величины ΔW_s , ΔW_w и m в формулах (1) и (2) вычислены Миланковичем для отдельных широт и сезонов года и приведены в виде таблиц, а для определения изменений угла ϵ и индекса климатической прецессии $e \sin \omega$ он использовал вычисления и формулы астрономов и математиков У.Ж.Ж. Леверье, Дж. Стоквелла, Л. Пильгрима и М. Мишковича.

М. Миланкович вычислил изменения инсоляции за последние 600 тыс. лет для разных географических широт и сезонов. В соответствии с формулами (1) и (2), колебания зимней и летней инсоляции разных широт будут различными. В частности, изменения летней полугодовой инсоляции низких широт обычно определяются 20-тысячелетними прецессионными вариациями, а в высоких широтах преобладает влияние 41-тысячелетних колебаний наклона земной оси. Поэтому колебания полугодовой инсоляции противоположных полушарий в высоких широтах будут в основном однофазными, а в низких широтах — противофазными.

Первая часть работы по созданию астрономической теории, которую можно назвать теорией инсоляции, была выполнена. Алгоритм вычислений инсоляции, предложенный М. Миланковичем, не вызывает сомнений и используется до сих пор. Теперь для определения связи между колебаниями инсоляции и климата необходимо придать этим вычислениям палеоклиматическую значимость. Эту наиболее близкую для исследователей палеоклимата часть астрономической теории мы и будем именовать теорией Миланковича (ТМ). Миланкович опирался на мнение известного климатолога В.П. Кёппена: “Если мы захотим теперь приступить к выяснению связи между описанными колебаниями климата и вековым ходом облучения Земли, то для этого, как утверждает Кёппен, необходимо сперва ответить на два предварительных вопроса: 1) какой метеорологический элемент и 2) какое время года имеется главным образом в виду,

когда идёт речь об оледенении Европы и Северной Америки” [8, с. 151].

Первый вопрос отражает дискуссию первой половины XX в. о причинах покровных оледенений. Одни исследователи считали, что главной причиной оледенений было увеличение количества осадков, которые питали ледники, другие полагали таковой причиной понижение температуры поверхности Земли. К последним относился и В.П. Кёппен. Таким образом, основным метеорологическим элементом, рассматриваемым в ТМ, является температура. Следовательно, надо перевести изменения инсоляции в изменения температуры земной поверхности, понижение которой считалось главной причиной оледенений. Поскольку Миланкович рассчитал вариации инсоляции на верхней границе атмосферы, необходимо было рассмотреть тепловые свойства как непосредственно поверхности Земли, так и атмосферы, строение и состав которой оказывают существенное влияние на количество поступающей к земной поверхности солнечной радиации. Этому вопросу посвящена вторая часть книги Миланковича “Влияние атмосферы на облучение Земли и зависимость между приходящим излучением и температурой. Математический климат Земли”.

Основываясь на развитой им математической теории климата, Миланкович перевёл вычисленные вариации инсоляции прошлого в соответствующие изменения температуры. По Миланковичу, форма температурной (палеоклиматической) кривой в целом аналогична форме инсоляционной кривой для внеледниковых и пограничных регионов, и только во внутриледниковых областях в связи с влиянием альbedo палеотемпературная кривая будет отличаться от инсоляционной кривой в периоды оледенений за счёт сглаживания расположенных между двумя ледниковыми минимумами температурных максимумов, уменьшающих свою величину. Однако и для этих районов временные положения минимумов инсоляции и температуры, которые Миланкович интерпретировал как временные даты оледенений, остаются практически неизменными (более подробно см. [1, 8]). Согласно ТМ, изменения температуры для отдельных широт и сезонов года в основном подобны соответствующим изменениям инсоляции, что наглядно иллюстрирует рисунок 1. Для линейного перевода инсоляции в температуру Миланкович привёл на рисунке масштаб радиации. Кроме того, видна противофазность изменения температуры летнего и зимнего полугодий, особенно для более низкой широты, где значительно влияние прецессии, а для более высокой широты хорошо проявляется преобладание в изменениях полугодовой инсоляции и температуры 41-тысячелетних вариаций наклона земной оси. Влияние прецессии наиболее заметно

в период 70–130 тыс. лет назад, когда значения эксцентриситета были максимальные.

Второй поставленный Кёппеном вопрос, по-видимому, связан с тем фактом, что изменения полной годовой прецессионной инсоляции равны нулю для любой широты. Следовательно, если учитывать полную годовую инсоляцию, влияние прецессии на климат при линейном механизме трансформации инсоляции в температуру будет отсутствовать. Поэтому было решено использовать полугодовые вариации инсоляции, как это делали ранее Адемар и Кролль, которые полагали, что оледенение затронет полушарие, день зимнего солнцестояния которого приходится на афелий. Однако Кёппен посчитал, что оледенению будут способствовать условия с малыми контрастами сезонной инсоляции, то есть оно произойдёт в рассматриваемом полушарии в периоды, характеризующиеся не длительной холодной зимой, а длительным прохладным летом, когда день летнего солнцестояния приходится на афелий. Хотя приведённые Кёппеном доводы в поддержку этой точки зрения (посредством сопоставления климатических условий Гренландии и северо-востока Сибири [8]) нельзя признать корректными, современные данные подтверждают их актуальность для оледенений Северного полушария [1].

Итак, для определения времени оледенений было решено использовать летнюю полугодовую инсоляцию. Почему при этом можно пренебречь одинаковыми по величине, но противоположными по знаку изменениями зимней инсоляции, объяснено не было. Не упоминалось также и приведённое выше мнение Дж. Гершеля и А. Гумбольдта о необходимости учёта полной годовой инсоляции.

Похожую проблему необходимо было решить и для учёта вариаций инсоляции, обусловленных колебаниями угла наклона земной оси, которые перераспределяют инсоляцию по широтам, не изменяя поступающей к планете в целом инсоляции. Вследствие этого изменения инсоляции разных широт оказывались различными даже по знаку, давая нулевое глобальное изменение инсоляции при колебаниях угла наклона земной оси. В данном случае особо значимой для образования ледниковых щитов была признана инсоляция на 65° с.ш., поскольку примерно на этой широте, по мнению Кёппена, происходило зарождение и распространение ледников. В результате палеоклиматически значимыми для выделения оледенений Северного полушария были признаны изменения инсоляции летнего калорического полугодия на 65° с.ш. Оледенениям на этой инсоляционной кривой соответствовали самые глубокие минимумы инсоляции (минимумы температуры) (рис. 2). Их было выделено четыре для последних 600 тыс. лет, что хорошо

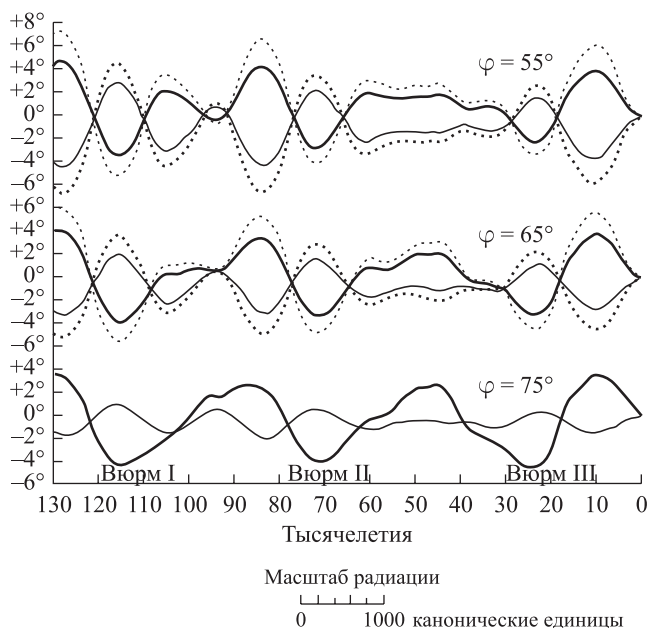


Рис. 1. Кривые векового хода радиации и температуры для различных географических широт Северного полушария за последние 130 тыс. лет (относительно эпохи 1800 г.)

Для перевода температурной кривой в радиационную вверх приведён масштаб. Сплошные утолщённые и тонкие кривые представляют изменения температуры соответственно летнего и зимнего полугодий; точечные кривые – самого тёплого месяца; пунктирные кривые – самого холодного месяца

соответствовало четырём оледенениям принятой тогда альпийской схемы А. Пенка и Е. Брюкнера, причём межледниковые Миндель–Рисс оказалось самым длительным (также в соответствии с этой схемой). Данные обстоятельство и послужили основной причиной широкого признания ТМ.

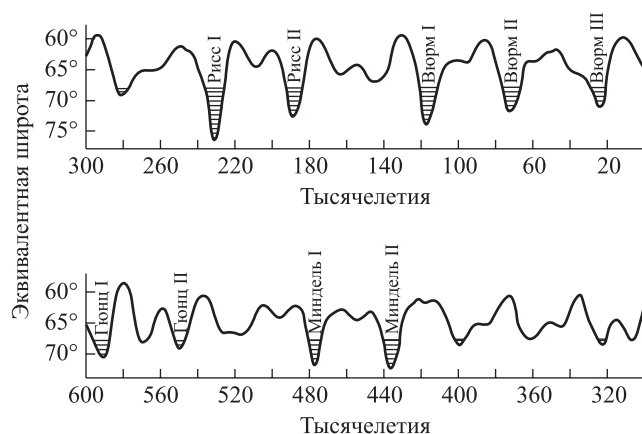


Рис. 2 Вековой ход летних сумм радиации на 65° с.ш. (инсоляционная диаграмма Миланковича)

Вычисленные изменения инсоляции были переведены для наглядности в изменения широты, то есть вычислялась та эквивалентная широта, которая в настоящее время получает столько же тепла, как и 65° с.ш. в рассматриваемое тысячелетие геологического прошлого. Заштрихованные участки соответствуют оледенениям

Таким образом, следует считать адекватным определение понятия ТМ, данное ранее [1, 11], которое можно ещё более конкретизировать: “Теория Миланковича — это одна из версий орбитальной теории палеоклимата. Согласно ТМ, временная последовательность потеплений и похолоданий на определённой широте в отдельные сезоны года подобна вариациям инсоляции, вычисленным для рассматриваемого сезона и широты. В частности, оледенения Северного полушария соответствуют наиболее глубоким минимумам инсоляции летнего калорического полугодия под 65° с.ш.”. Однако в предисловии к сборнику трудов Международной конференции “Миланкович и климат” (редакторы сборника — А. Берге, Дж. Имбри, Дж. Хейс, Г. Кулла и Б. Зальцман) ТМ определяется так: “Суть теории Миланковича заключается в том, что главные флуктуации глобального климата, связанные с ледниковым циклом, вызваны вариациями приходящей солнечной радиации — вариациями, которые в свою очередь вызваны медленными изменениями геометрии земной орбиты, происходящими в ответ на предсказуемые изменения гравитационного поля, воздействующего на Землю” [12, р. IX]. Совершенно очевидно, что это определение представляет не теорию Миланковича с её конкретными особенностями, а более общую орбитальную теорию. На мой взгляд, именно это некорректное определение сути ТМ, данное авторитетными в области изучения палеоклимата учёными, её отождествление с орбитальной теорией палеоклимата существенно усложнило дальнейшее развитие ОТП плейстоцена.

НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ НЕКОРРЕКТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ МИЛАНКОВИЧА

Отождествление ТМ и ОТП началось ещё со знаменитой работы Дж. Хейса, Дж. Имбри и Н. Шеклтона [13], в которой показано, что не менее 80% глобальной климатической изменчивости за последние 500 тыс. лет обусловлено орбитальными вариациями инсоляции. Впервые была корректно доказана справедливость орбитальной гипотезы палеоклимата, но не теории Миланковича. Более того, обнаружены существенные противоречия ТМ полученным в [13] эмпирическим данным: наиболее значительная климатическая изменчивость связана со 100-тысячелетним эксцентриситетным циклом, который отсутствует в ТМ (так называемая “проблема 100-тысячелетнего периода”); оледенения в палеоклиматических записях приходятся на периоды минимальных значений эксцентриситета в 100-тысячелетнем цикле, тогда как в ТМ оледенения должны статистически приходиться на максимальные значения эксцентриситета (более

подробно см. в [1]). Позднее были обнаружены и другие противоречия ТМ [1 и ссылки в ней], однако однозначный, последовательный, аксиоматический вывод о том, что ТМ неверна, поскольку противоречит эмпирическим данным, сделан только в работах [1, 14]. Там же обобщены и основные недостатки ТМ: использование неполных, то есть полугодовых и для одной широты, вариаций инсоляции при интерпретации глобальных изменений климата; недостаточный учёт влияния обратных связей, преобразующих инсоляционные сигналы в климатические изменения, и линейный механизм перевода инсоляции в температуру; отсутствие учёта качественных различий вариаций инсоляции, связанных с отдельными орбитальными элементами.

Как ни странно, дальнейшее развитие ОТП после публикации работы [13], доказавшей правильность орбитальной гипотезы, является весьма противоречивым. Это развитие связывалось в основном с усовершенствованием ТМ, выразившимся, например, в использовании для палеоклиматических интерпретаций среднемесячной или даже суточной инсоляции вместо полугодовой у Миланковича. (Очевидно, это только усугубило один из главных недостатков ТМ.) Предлагались и иные астрономические факторы воздействия на колебания климата вместо традиционных орбитальных [1 и ссылки в ней]. Более того, в 1982 г. Дж. Имбри подверг ТМ весьма резкой критике, впервые выделив один из её главных недостатков: “У исследователей также была тенденция полагать, что они могут моделировать ответ системы, исходя из кривой радиации, представляющей входной сигнал для одной широты и сезона (Milankovitch, [15]). Так как никто не может быть уверен, какая инсоляционная кривая, если она есть, была решающей, исследователи имеют широкие возможности выбрать ту кривую, которая согласуется с их данными. Понятно, что вытекающая из этого двусмысленность много сделала, чтобы подорвать доверие к обоснованности временных предсказаний. Начиная с 1976 г., с приходом численных моделей, учитывающих влияние инсоляции для всех широт и сезонов, эта ситуация была значительно улучшена” [16, р. 413].

Однако двумя годами позже Имбри вместе с другими известными редакторами сборника “Миланкович и климат” назвал Миланковича “одним из великих творческих учёных нашего времени” [12, р. IX]. Очевидно, такую характеристику трудно сопоставить с именем учёного, теория которого имеет столь существенные недостатки. Более того, декларируя необходимость использования полных вариаций инсоляции, сам Имбри значительно позже 1976 г. использовал для палеоклиматического моделирования и интерпретации инсоляцию июня для 65° с.ш. [17]. Казалось бы, точку зрения Дж. Имбри

о необходимости использования полной инсоляции поддерживает А. Берже с коллегами: “Такие зависящие от времени климатические модели должны быть управляемы именно астрономическими вариациями инсоляции для каждой широты и дня” [18, р. 616]. Однако далее авторы добавляют: “Июньская инсоляция для 65° с.ш. очень часто используется в качестве основополагающей для анализа климатических изменений, в частности для изменений объёма льдов” [18, р. 617]. Как можно полную годовую и глобальную инсоляцию заменить инсоляцией одного месяца и одной широты? Ведь эта неполная инсоляция не учитывает ни широтных, ни внутригодовых изменений инсоляции, о необходимости учёта которых тот же Берже писал в 1980 г. [19]. Чем можно оправдать использование неполной инсоляции, что справедливо критиковали ещё Гершель и Гумбольдт? Очевидно — теорией Миланковича, в которой используются именно неполные вариации инсоляции и которая считается верной при её отождествлении с ОТП, ведь последняя подтверждена эмпирическими данными [13].

Приведу ещё один пример непоследовательности. В статье известного исследователя четвертичного периода Дж. Куклы было справедливо отмечено, что главная проблема ТМ — “найти детали механизма, посредством которого инсоляция изменяет климат” [20, р. 11]. Своё несогласие с линейным переводом инсоляции в температуру (почему-то приписывая это не Миланковичу, а Кёппену) Кукла выражал следующими словами: “Первоначальные идеи Кёппена и Вегенера о прямом воздействии инсоляции на ледники являются, в свете современной климатологии, в лучшем случае наивными. Перераспределение энергии в системе Земля—атмосфера, которое осуществляется посредством ряда индивидуальных обратных связей, делает проблему чрезвычайно сложной” [20, р. 11]. Однако именно на этой “в лучшем случае наивной” трактовке линейного климатического воздействия инсоляции основано финальное достижение ТМ — хронология оледенений. Значит, и даты оледенений, установленные Миланковичем, нельзя признать корректными. На самом деле в целом для последних 600 тыс. лет они неверны. Это доказано их сравнением с палеоклиматическими, в первую очередь изотопно-кислородными (ИК), данными [1], а также преобладанием отсутствующей в ТМ 100-тысячелетней периодичности оледенений в последний миллион лет. Тем не менее в своей более поздней работе Кукла [21] в противовес собственным же утверждениям пытался показать соответствие дат оледенений в ТМ датам, полученным с помощью ИК-данных. Однако этого соответствия в целом нет.

Двусмысленная ситуация с определением сути ТМ привела к тому, что термин “теория Миланковича” стал свободно трактоваться разными авторами. Например, более адекватное, чем в [12, р. IX], определение ТМ дано в статье [22] с примечательным названием “Исправление теории Миланковича: усиление (вариаций. — В.Б.) наклона земной оси с помощью поверхностных обратных связей”. Авторы пишут: “Теория Миланковича устанавливает, что орбитально обусловленные вариации летней инсоляции высоких широт определяют распространение и сокращение ледовых щитов” [22, р. 41]. Однако далее они демонстрируют незнание ТМ: “Соответственно, прецессия должна доминировать в ответных изменениях объёма льда, т.к. она наиболее сильно модулирует летнюю инсоляцию” [22, р. 41]. Это не так, поскольку прецессия вносит почти такой же (даже немного меньший), как 41-тысячелетние вариации угла наклона земной оси, вклад в инсоляцию летнего калорического полугодия на 65° с.ш., которую использовал Миланкович. А преобладание прецессионного вклада имеет место для среднемесячных или суточных вариаций инсоляции, которые позже стали использовать Берже и другие (см. выше). Исходя из неверного посыла, авторы считают, что отсутствие прецессионной 20-тысячелетней периодичности в палеоклиматических данных по раннему плейстоцену является главным противоречием ТМ: “Этот очевидный провал теории Миланковича привёл к новым гипотезам о том, как орбитальные циклы влияют на объём льда” [22, р. 41].

Противоположную и тоже не соответствующую действительности трактовку влияния двух орбитальных элементов на летнюю инсоляцию и, соответственно, иное определение главного противоречия ТМ приводит Д. Пайяр: “Теория Миланковича предсказывает ледовую цикличность в 41 тысячу лет, тогда как главная периодичность, обнаруженная в записях, — 100 тыс. лет” [23, р. 11]. Такая трактовка является ещё более странной в связи с тем, что в 2001 г. Пайяр правильно представлял теорию Миланковича: “Теория Миланковича предсказывает, что климатическая цикличность должна проявляться в основном при 23 тыс. лет, что обусловлено прецессией, и при 41 тыс. лет, в связи с колебаниями наклона земной оси” [24, р. 326].

В 2015 г. Д. Пайяр, лауреат медали М. Миланковича за 2013 г., дал и необычное толкование содержания ТМ: «Что касается теории Миланковича, необходимо отметить, что главный объект её интереса не “климат”, т.е. температура различных регионов Земли, а ледниковые щиты» [23, р. 19]. С какой целью это отмечено, осталось непонятным, но такое толкование в корне противоречит сути теории. Да, целью Миланковича было дать объяснение существованию в прошлом оледенений, однако он

ставил проблему более широко — объяснить глобальные колебания климата (что отражено, кстати, и на рисунке 1, и в названии его книги [8]), экстремальными проявлениями которых и являются оледенения. Изменения инсоляции Миланкович переводил в изменения температуры и только потом наиболее глубокие минимумы инсоляции (и температуры) логично интерпретировал как оледенения. Может быть, говоря о “теории ледниковых шитов”, Пайяр имел в виду какой-то только ему известный механизм, при котором изменения инсоляции приводят к оледенениям (увеличениям объёма льда) напрямую, без первоначального понижения температуры? В статье [23] не дано определение ТМ, не дал Пайяр этого определения и в ответе [25] на наши комментарии к его статье [26]. Он сослался на “обычное понимание теории Миланковича” [25].

Д. Пайяр — не единственный из последователей Миланковича, кто стал переименовывать направленность не только ТМ, но и более общей орбитальной теории. Ещё раньше это делали П. Кларк [27] и А. Берже [28], которые объясняли не возникновение оледенений, на что были направлены все версии ОТП, в том числе и ТМ, а переходы от оледенений к межледниковьям — так называемые “терминации”. Философская база такой переориентации основной направленности ОТП была дана в публикации Берже с соавторами [28] при попытке объяснить 100-тысячелетние ледниковые циклы последнего миллиона лет. Авторы предлагают модель изменения объёма льда на планете для последних 3 млн. лет. В этой модели рассматриваются два внешних фактора, воздействующих на климатическую систему Земли: линейное уменьшение концентрации CO_2 в течение 3 млн. лет и вариации инсоляции июля на 65° с.ш. По мнению авторов, уменьшение концентрации CO_2 вызывает постепенное глобальное понижение температуры и рост глобального объёма льда. По мере роста объёма льда климатическая система будет по-разному реагировать на инсоляционный сигнал. В интервале времени 3–1 млн. лет назад, когда объём ледников был невелик, действовал “механизм Миланковича”, согласно которому оледенения наступают тогда, когда летняя (в данном случае июльская, а не полугодовая) инсоляция достигает минимума. Берже и соавторы [28] полагают, что такой механизм позволяет лучше всего проявляться полученному эмпирически 41-тысячелетнему воздействию вариаций наклона земной оси. (Заметим, однако, что в изменениях месячной инсоляции основной вклад вносит прецессия, и поэтому должна наблюдаться в первую очередь 20-тысячелетняя цикличность.)

Иной механизм воздействия инсоляции на климат прослеживается во временном интервале 1–0 млн. лет, когда из-за уменьшения CO_2

и понижения температуры глобальный объём льда увеличился. Берже считает, что при этом оледенения начинают длиться дольше, чем межледниковья. Далее статья гласит: “В этом ледниковом мире осуществление межледниковий требует очень большой летней инсоляции высоких широт, т.е. совпадения высокого эксцентриситета, большого угла наклона земной оси и лета Северного полушария в перигелии... Поскольку эксцентриситет достигает максимума примерно каждые 100 тысяч лет, межледниковья происходят каждые 100 тысяч лет. Это особенно ясно для последних 0,8 млн. лет: в нашей модели полное или почти полное таяние ледников Северного полушария происходит, только когда июльская инсоляция для 65° с.ш. превышает $460 \text{ Вт} \times \text{м}^{-2}$, что также относится к временам высокого эксцентриситета” [28, р. 8].

Итак, в работе [28] для последнего миллиона лет предлагается решение проблемы наступления межледниковий, а не оледенений. Эта задача искусственна, поскольку искажает действительное положение дел: изменения климата кайнозоя, в частности плейстоцена, выражались именно в направленном похолодании и в постепенном увеличении объёма льда. Около 1 млн. лет назад похолодание продолжалось, но мир после этого периода, хотя его и называли ледниковым, нельзя считать ледниковым в понимании А. Берже. Это следует хотя бы из того, что, примерно как и сейчас, три четверти планеты занимал океан, в основном свободный ото льда. Необходимо помнить и то, что большая часть земной суши даже во время максимального распространения плейстоценовых оледенений на территории Европы и Северной Америки (от высоких широт до 50 и 40° с.ш. соответственно) также была свободна ото льда. Так что исходное, базовое состояние “плейстоценового мира” — всё же межледниковье, а не оледенение, как полагает Берже. Поэтому надо объяснять наступление не межледниковий, а оледенений, что, кстати, и делали основатели орбитальной теории на разных стадиях её развития, в том числе М. Миланкович.

Этот новый подход к орбитальной теории колебаний климата в плейстоцене подтверждают слова А. Берже, сказанные во время нашей с ним краткой беседы в 1999 г. в Бирмингеме, где проходила XXII Генеральная ассамблея Международного союза по геодезии и геофизике (IUGG). На моё замечание, что ТМ неверна, поскольку противоречит эмпирическим данным, Берже ответил только: “А у меня своя теория”. Тем не менее, как показано в [29], и эта его версия орбитальной теории не объясняет 100-тысячелетней периодичности циклов межледниковья и оледенений в последний миллион лет. Однако идея объяснять терминации, а не оледенения получила распространение, в частности,

в работе А. Ганопольского [30], одного из лауреатов медали М. Миланковича.

Примеры искажения сути ТМ есть и в обширной публикации, где сказано: “Исходя из теории Миланковича, можно предположить, что терминации (и связанные с ними начала межледниковий) должны происходить во время увеличения летней инсоляции Северного полушария. Поскольку не каждый прецессионный цикл ведёт к межледниковью, должен быть другой фактор, ведущий к межледниковьям, случающимся в одни прецессионные циклы, но не в другие” [31, р. 30]. Сразу вызывает недоумение тот факт, что нужна именно ТМ, чтобы утверждать, что потепление (терминация) будет совпадать с увеличением приходящей солнечной радиации. Далее, поскольку здесь дважды говорится о проявлении прецессионных циклов, можно заключить, что 32 автора статьи [31] под летней инсоляцией подразумевают месячную или даже суточную инсоляцию, прецессионный вклад в которую является определяющим. Однако в ТМ палеоклиматически значима инсоляция летнего калорического полугодия на 65° с.ш., в которую примерно одинаковый вклад вносят и прецессия, и вариации наклона земной оси. Понятно, что изменение во времени инсоляции в ТМ будет совсем другим, нежели изменения месячной или суточной инсоляции. Однако представление о том, что в ТМ палеоклиматически значимы вариации месячной инсоляции, получило распространение, примером чему служит цитата, приведённая выше [22, р. 41]. Отметим, что авторы [22] логично трактуют преобладание прецессионного вклада в инсоляцию и его отсутствие в палеоклиматической записи как “провал” теории, тогда как авторы [31] такого несоответствия почти не замечают.

В 2015 г. в зарубежной литературе впервые, насколько мне известно, Д. Пайяром [23] было признано, что ТМ не может разрешить проблему 100-тысячелетней периодичности. Отсутствие её решения в рамках подхода Миланковича, основанного на использовании неполных вариаций инсоляции, вынудило Пайяра обратиться к так называемой “геохимической теории”. Основой геохимической теории является воздействие не зависящих от климата вариаций содержания углекислого газа (CO_2) в атмосфере на термическое состояние планеты посредством парникового эффекта. Изменения CO_2 , по мнению Пайяра, — это не следствие, а причина глобальных климатических колебаний в плейстоцене и, наряду с орбитальными вариациями инсоляции, ещё один независимый фактор, воздействующий на климат планеты.

Поскольку изменения CO_2 , зафиксированные в ледовых ядрах Антарктиды [32], подобны изменениям температуры в Антарктиде и изменениям

$\delta^{18}\text{O}$ глубоководных осадков, то в записях CO_2 имеют место те же орбитальные периодичности с соответствующими амплитудами, которые зафиксированы в указанных палеоклиматических записях. Тогда, используя простой линейный механизм преобразования CO_2 -сигнала, легко объяснить наличие орбитальных периодичностей в палеоклиматических записях и решить проблему 100-тысячелетней периодичности оледенений. Но в таком случае для объяснения оледенений становится ненужной не только теория Миланковича, но и более общая орбитальная теория. Это заключение следует признать логичным в отношении ТМ, учитывая её недостатки и противоречия эмпирическим данным, но не в отношении ОТП (особенно в отношении новой концепции ОТП [1]), которая подтверждена эмпирическими данными.

ОБ АЛЬТЕРНАТИВНОМ “МИЛАНКОВИЧСКОМУ” ПОДХОДЕ К СОЗДАНИЮ ОТП ПЛЕЙСТОЦЕНА

Более чем 40-летняя (после публикации статьи [13]) история усовершенствования ТМ привела к фактическому отказу от неё, хотя этот отказ последователями Миланковича не признаётся [25]. Отказ от ТМ должен был бы произойти гораздо раньше, если бы её не отождествляли с ОТП после открытия определяющего вклада орбитальных периодичностей в палеоклиматические записи [13]. На самом деле в случае корректного определения сути ТМ её конкретные несоответствия эмпирическим данным были бы выявлены и осознаны гораздо раньше, что автоматически повлекло бы за собой вывод о том, что теория неверна. (Напомню, что именно по этой причине ТМ была отвергнута в первый раз в 1960–1970-х годах [1].) Последователи Миланковича в течение многих десятилетий совершенствовали довольно неопределённую теорию. Двусмысленное отношение к ТМ, которая большинством исследователей воспринимается как основа развития теории палеоклиматов плейстоцена, существенно задержало создание корректной ОТП. Это выражается, в частности, в том, что уже в течение 40 лет последователи Миланковича не могут разрешить проблему 100-тысячелетнего периода. Также не решена проблема “среднеплейстоценового перехода” (СПП) — смены преобладающей периодичности ледниковых циклов от 41-тысячелетней к 100-тысячелетней периодичности, которая произошла около 1,24 млн. лет назад [33]. Нет объяснения отсутствию в палеоклиматических “записях” плейстоцена главного эксцентриситетного — 400-тысячелетнего — цикла, хотя 100-тысячелетний цикл доминирует в палеоклиматических колебаниях последних 1,24 млн. лет.

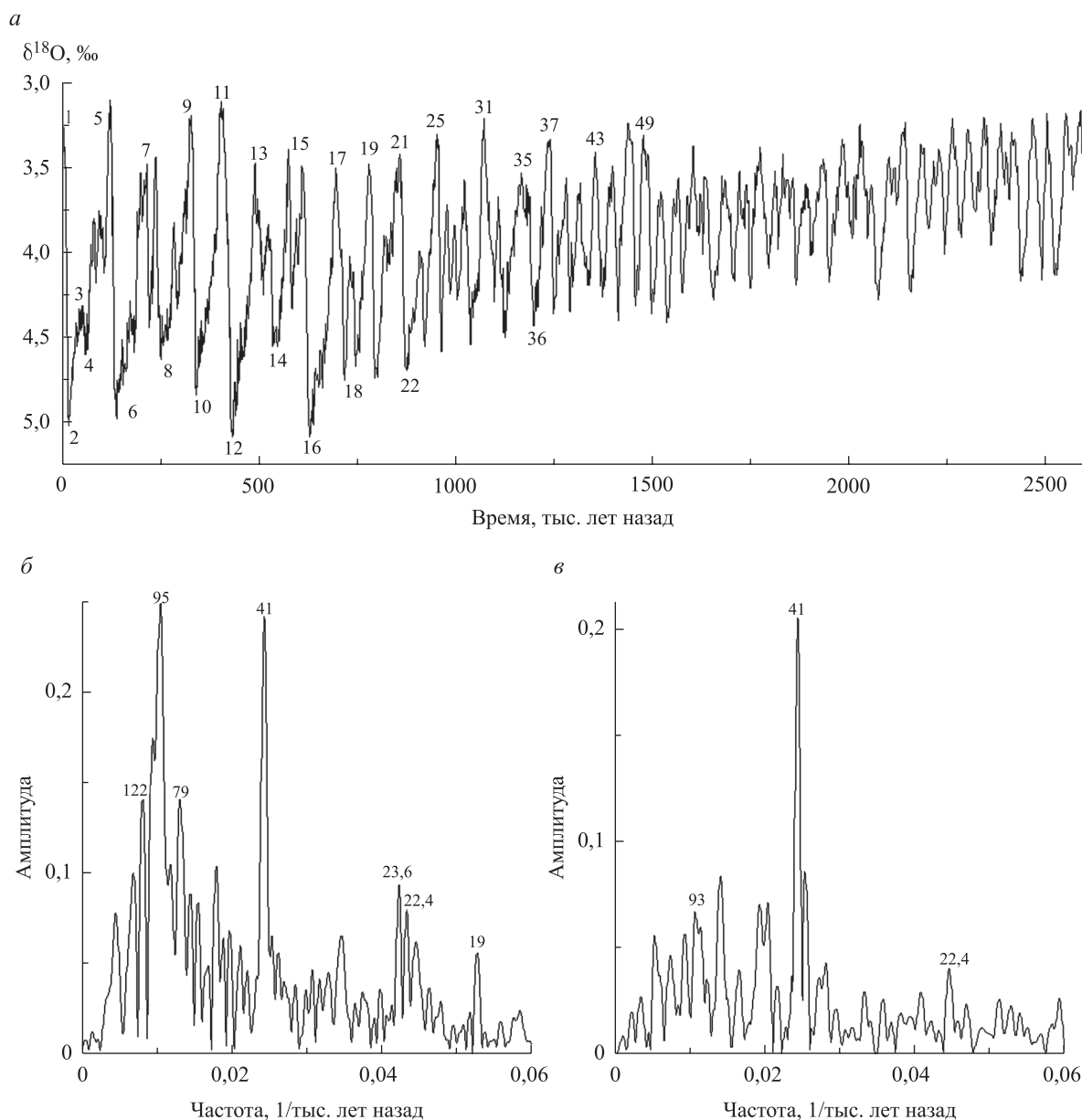


Рис. 3. Изотопно-кислородная запись LR04 в интервале 0–2600 тыс. лет назад (а) и амплитудно-частотные спектры ИК-кривой для интервалов 0–1300 тыс. лет назад (б) и 1300–2600 тыс. лет назад (в)

а — цифры у кривой — номера морских изотопных стадий; б, в — цифры у кривой — периоды (в тысячах лет) наиболее значимых климатических вариаций для соответствующих интервалов времени

Именно для решения этих проблем была предложена новая концепция орбитальной теории палеоклимата [1, 14, 34], которая формулируется следующим образом. Глобальные колебания климата, характеризующиеся периодичностями в десятки и сотни тысяч лет, определяются вариациями поступающей солнечной радиации, вызванными изменениями орбитальных элементов Земли. Климатическая значимость вариаций каждого орбитального элемента определяется, во-первых, спецификой изменения полной годовой (с учётом внутригодовой) изменчивости (летней

и зимней или для всех месяцев года) и глобальной (для всех широт Земли) инсоляции, во-вторых, земными обратными связями, избирательно (специфически) преобразующими соответствующие инсоляционные сигналы. Степень и характер воздействия обратных связей, в конечном счёте и трансформирующих орбитальные инсоляционные сигналы в глобальные климатические колебания, зависят от глобального палеоклиматического (термозеры и гляциоэры) и палеогеографического (распределение по поверхности планеты материков и океанов) состояния Земли.

Исходя только из этой формулировки новой концепции ОТП, можно сразу объяснить на качественном уровне большую часть особенностей палеоклиматических данных, необъяснимых в рамках ТМ. Сделаем это на примере ИК-данных, широко используемых и общепризнанных в качестве глобальных палеоклиматических показателей, которые отражают изменения глобального объёма льда, а также температуры в месте отбора образцов. На рисунке 3, *а* представлена усреднённая по 57 глубоководным колонкам Мирового океана ИК-кривая по бентосным фораминиферам LR04 [35]. Графические максимумы на этой кривой отражают потепления и уменьшения объёма льда (межледниковья, нечётные морские изотопные стадии), а минимумы — оледенения, чётные морские изотопные стадии. Показанные на рисунке 3 *б*, *в* данные спектрально-временного анализа ИК-записи LR04 демонстрируют преобладание эксцентриситетной 100-тысячелетней периодичности с главными гармониками 95 и 122 тыс. лет в климатических изменениях последних 1,3 млн. лет. Наименьшее климатическое влияние в этом интервале времени связано с прецессионными 23–19-тысячелетними вариациями. В интервале 2,6–1,3 млн. лет доминирует 41-тысячелетняя периодичность вариаций наклона земной оси при практическом отсутствии влияния вариаций инсоляции, связанных с прецессией и изменениями эксцентриситета.

Таким образом, рисунок 3 иллюстрирует уже упоминавшиеся главные проблемы, которые не может разрешить ТМ, — проблемы СПП и 100-тысячелетнего периода. Кроме того, видно, что прецессия вносит существенно меньший вклад в климатические изменения плейстоцена, нежели два других орбитальных элемента. Согласно ТМ, прецессия должна оказывать на климат примерно такое же влияние, как и колебания угла наклона земной оси, а непосредственное воздействие вариаций эксцентриситета пренебрежимо мало из-за слабых изменений инсоляции, вызываемых этими вариациями. Последнее обстоятельство было главным препятствием для логичного объяснения проблемы 100-тысячелетнего периода посредством учёта прямого воздействия на климат вариаций эксцентриситетной инсоляции.

Однако новая концепция обеспечивает иной взгляд на возможности климатического влияния отдельных орбитальных элементов. Одной из отличительных особенностей новой концепции является требование реального учёта изменений полной годовой и глобальной инсоляции. С этих позиций преимущество имеют изменения инсоляции, связанные с эксцентриситетом, поскольку только они определяют полную годовую инсоляцию всей Земли. А наиболее слабого воздействия на глобальный

климат следует ожидать как раз от прецессионных вариаций, которые не изменяют годовую инсоляцию на любой широте и, более того, вызывают противоположные изменения сезонной инсоляции в разных полушариях. Это заключение подтверждается эмпирическими данными, приведёнными на рисунке 3. С чем же тогда связано более заметное, чем со стороны прецессии, влияние на климат вариаций наклона земной оси, тоже практически не изменяющее глобальную инсоляцию? Как следует из новой концепции, таких факторов два: во-первых, это ненулевое годовое изменение инсоляции отдельных широт, во-вторых — наличие обратных связей в климатической системе. Исходя из структуры прецессионных вариаций инсоляции, механизм глобального воздействия обратных связей весьма проблематично выявить, хотя, по-видимому, он существует. А вот для колебаний угла ε специфической обратной связью является альбедная, обусловленная динамически изменяющимся ледовым и снежным покровом высоких широт. Поскольку в низких широтах такой фактор в основном отсутствует, данное обстоятельство способствует преодолению противофазного в высоких и низких широтах воздействия изменений инсоляции, связанных с колебаниями угла ε : глобальное климатическое воздействие вариаций угла наклона будет определяться изменениями инсоляции высоких широт [1, 34].

С наличием изменяющего свой объём ледового покрова планеты в новой концепции связывается и специфика прямого климатического воздействия эксцентриситетных вариаций инсоляции. В частности, предполагается [1, 29], что примерно 1200 тыс. лет назад объём ледников стал таким, что в системе “атмосфера—гидросфера—криосфера—литосфера” могли возникнуть автоколебания с собственным периодом около 100 тыс. лет. При этом возможно резонансное усиление 100-тысячелетних эксцентриситетных вариаций инсоляции, причём минимальным значениям e (обеспечивающим минимумы эксцентриситетной инсоляции) будут соответствовать похолодания (оледенения) в полном согласии с эмпирическими данными [1, 13]. Преобладание 41-тысячелетних климатических колебаний в первой половине плейстоцена (см. рис. 3, *а*, *в*) объясняется также резонансным механизмом, но с меньшим резонансным периодом, обусловленным меньшим объёмом ледников. Отсутствие 400-тысячелетних колебаний в плейстоцене логично связывается с недостаточным для проявления такой периодичности количеством глобального объёма льда [29]. Таким образом, новая концепция даёт непротиворечивое и понятное объяснение наиболее важных проблем палеоклимата плейстоцена — проблем СПП, 100-тысячелетнего периода,

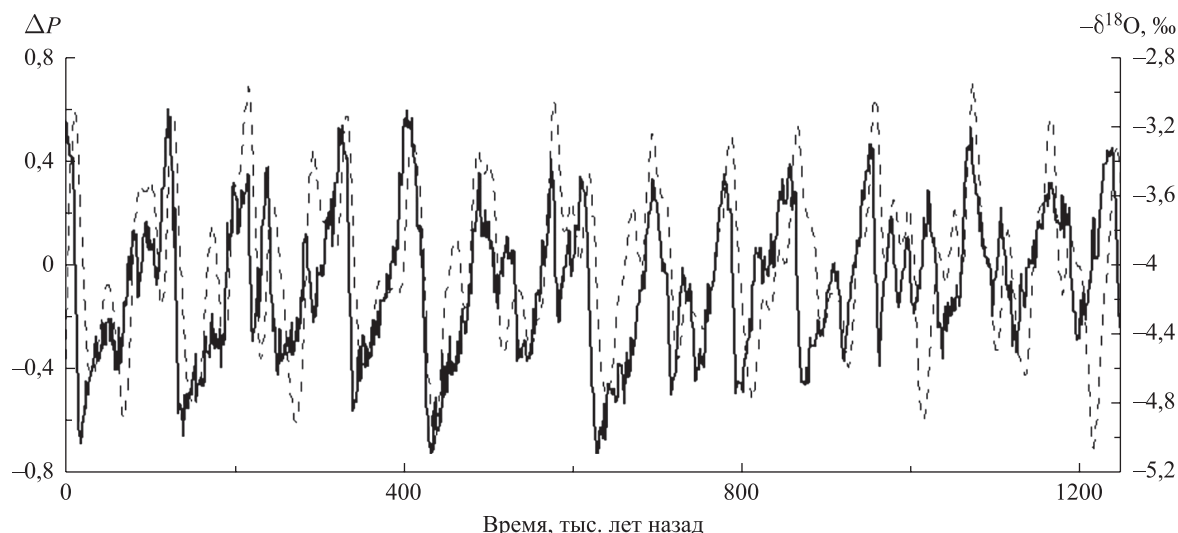


Рис. 4. Сопоставление новой ОКД (штриховая линия) с ИК-кривой LR04 (утолщённая сплошная линия) в интервале 0–1250 тыс. лет назад

Для удобства сопоставления значения $\delta^{18}\text{O}$ умножены на -1

отсутствия проявления 400-тысячелетней периодичности в палеоклиматических колебаниях.

На основе новой концепции построена орбитально-климатическая диаграмма (ОКД), представляющая условную относительную вероятность возникновения оледенений и межледниковий в последний миллион лет [1, 36]. В 2013 г. ОКД была модернизирована [37]. Несмотря на то, что ОКД получена на основе самых общих и простых соображений о влиянии вариаций орбитальных элементов на климат, она удивительно хорошо соответствует эмпирическим данным о палеоклиматических колебаниях плейстоцена (рис. 4). Наиболее заметные несоответствия ОКД и LR04 могут быть связаны с тем, что орбитальное воздействие — основной, но не единственный фактор, влияющий на глобальные климатические колебания. Также не исключены неточности временной шкалы ИК-записи LR04 [35]. Тем не менее коэффициент корреляции двух кривых с учётом задержки климатического отклика (кривая LR04) на инсоляционное воздействие (представленное ОКД) в 6 тыс. лет довольно высок — 0,74 [37]. Числовые значения для графического построения «старой» (ОКД) и «новой» (ОКДн) диаграмм можно получить по ссылкам: http://www.geogr.msu.ru/structure/labs/notl/nauchd/downloads/OCD_1250.txt и http://www.geogr.msu.ru/structure/labs/notl/nauchd/downloads/OCD-n_1250.txt

Всё вышеизложенное позволяет утверждать, что новая концепция ОТП может быть основой для разработки математически строгой орбитальной теории палеоклимата плейстоцена, учитывающей как разнообразные обратные связи в климатической системе Земли, так и полные вариации инсоляции, связанные со всеми орбитальными элементами. На

первом этапе разработки теории можно было бы ограничиться рассмотрением основных обратных связей, каковыми следует считать альбедную и обусловленную изменением концентрации парниковых газов (прежде всего водяного пара и углекислого газа). Вероятно, при создании такой корректной ОТП появится необходимость учитывать и некие дополнительные, помимо орбитальных, факторы воздействия на климатическую систему. Следовательно, исходя из разумного принципа — не приступать к созданию новой теории, не исчерпав всех возможностей предыдущей — нужно отказаться от предложенного Д. Пайярмом [23] симбиоза геохимической и астрономической теорий. (Напомню, что при таком симбиозе на самом деле оказывается ненужной не только ТМ, но и более общая орбитальная теория.) В противном случае перед создателями геохимической теории палеоклимата плейстоцена встанут следующие задачи.

Во-первых, потребуется доказательство существования не зависящих от колебаний климата и опережающих эти колебания изменений концентрации CO_2 в атмосфере, чем уже занялись некоторые исследователи [38]. Во-вторых, в случае успешного решения первой задачи необходимо будет разработать механизм, обеспечивающий изменение CO_2 во времени, подобное изменениям δD в ледовых ядрах Антарктиды или $\delta^{18}\text{O}$ в глубоководных осадках. Иными словами, этот механизм должен объяснить наличие орбитальных периодичностей в изменениях CO_2 , причём с соответствующими амплитудами: наибольшая амплитуда у 100-тысячелетней эксцентриситетной гармоникой, наименьшая — у 20-тысячелетней

прецессионной. Следовательно, при создании геохимической теории палеоклимата встают как минимум те же задачи и те же проблемы, что и при создании ОТП. Но если изменения орбитальных элементов логично и понятно обуславливают колебания инсоляции, которые органично связаны по своей энергетической природе с вариациями температуры, то вопрос о влиянии изменений орбитальных элементов (напрямую, не через колебания климата) на колебания CO_2 в атмосфере — дополнительная, сложная проблема, не имеющая пока своего столь же очевидного решения. И это ещё один довод в пользу дальнейшего развития именно ОТП.

Итак, с позиций новой концепции орбитальной теории палеоклимата нужны в геохимической теории нет. Кстати, то же утверждал по поводу “гипотезы CO_2 ” Миланкович, считая свою теорию достоверно объясняющей оледенения плейстоцена: “Нам нет надобности прибегать к помощи подобных гипотез” [8, с. 167]. Это тем более верно, что используемые в новой концепции механизмы климатического воздействия отдельных орбитальных элементов находятся в полном соответствии с эмпирическими данными [1, 13, 34]. Так, оледенения совпадают с минимумами эксцентриситета, соответствующими уменьшениям глобальной инсоляции; похолодания в 40-тысячелетней гармонике палеоклиматических изменений соответствуют понижению угла наклона земной оси; обусловленные прецессией понижения контрастов инсоляции Северного полушария совпадают с фазами похолодания в 23-тысячелетней гармонике палеоклиматических записей.

* * *

Теория Миланковича состоит из двух основных частей — теории инсоляции, в которой впервые дан математически строгий расчёт орбитальных вариаций инсоляции, и теории палеоклимата, где вычисленные вариации инсоляции на верхней границе атмосферы переводятся в изменения климата (температуры), а максимальные похолодания сопоставляются с оледенениями. Эта вторая часть имеет существенные противоречия с эмпирическими данными и, соответственно, недостатки, указанные выше. Более чем 40-летние усилия по усовершенствованию ТМ привели в работах некоторых её последователей к фактическому отказу от неё. При этом основные проблемы теории палеоклимата плейстоцена остались нерешёнными. Не в последнюю очередь это связано с отсутствием корректного определения понятия “теория Миланковича”, с необоснованным отождествлением ТМ и ОТП. Главное отрицательное последствие такого некорректного отождествления заключается в том,

что легитимным признаётся не выдерживающий критики подход Миланковича к использованию неполных вариаций инсоляции для глобальных палеоклиматических интерпретаций и моделирования.

Таким образом, можно констатировать наличие уникальной связанной с ТМ ситуации, которая заключается в чрезвычайном разнообразии понимания сути теории последователями Миланковича. Особенно удивляет, что у А. Берже, Дж. Имбри, Г. Куклы, А. Ганопольского и Д. Пайяра, являющихся лауреатами учреждённой в 1993 г. медали М. Миланковича, есть не только расхождения в понимании её сути, но и существенные возражения относительно ряда основных её положений либо даже сомнения в правильности палеоклиматической части теории, которая тем не менее практически повсеместно декларируется как основа ОТП.

Последнее замечание указывает на некое легковесное, безответственное отношение к астрономической (орбитальной) теории палеоклимата у последователей Миланковича, которое проявляется в неразберихе с определением сути его теории. (Примером может служить статья [39], в которой на рисунке, изображающем вариации орбитальных элементов, сделано три (!) существенных ошибки. При этом нет оснований заподозрить авторов в незнании основ ТМ.) Такое отношение подкрепляется и тем фактом, что Пайяр [23], делая вывод о невозможности объяснения проблемы 100-тысячелетнего периода с позиций ТМ, даже не упомянул многочисленных, в том числе и своих, работ, посвящённых этой проблеме, например [28, 30]. Ни один из авторов этих игнорируемых работ (кроме автора настоящей статьи [26]) не возразил Пайяру, видимо, молчаливо признав неубедительность своих заключений. В качестве примера можно привести статьи [30, 40]. В 2011 г. авторы объективно оценивали предопределённость результатов моделирования климатических изменений изменениями во времени эмпирически определённой концентрации парниковых газов (ПГ): “Возможно, что преобладающая 100-тысячелетняя периодичность и правильное определение времени ледниковых терминаций полностью относятся к предписанному воздействию ПГ, временная динамика которых сильно напоминает изменения объёма льда” [30, р. 1419]. Поэтому для моделирования 100-тысячелетнего ледникового цикла они учитывали также модели с постоянной концентрацией ПГ и, кстати, корректно, по их мнению [30], воспроизводили 100-тысячелетний климатический цикл последних 800 тыс. лет, вопреки утверждению Пайяра [23]. Однако в 2016 г. именно колебания концентрации ПГ и максимальной летней инсоляции на 65° с.ш. используются авторами [40] как для определения моментов начала оледенений в прошлом, так и для прогнозирования времени будущего оледенения.

При этом совершенно не затрагиваются вопросы о том, как может наименее палеоклиматически значимая прецессионная инсоляция определять наиболее значимый климатический цикл и как можно для прогнозов использовать изменение ПГ, механизм которого весьма проблематичен.

В чём причина столь неоднозначного отношения к наиболее распространённой версии орбитальной теории палеоклимата — сказать непросто. Очевидно, что такое отношение завело в тупик дальнейшее развитие этой версии. Поэтому приходится согласиться со словами Д. Пайяра: “Классическая теория Миланковича требует пересмотра” [24, р. 343]. Только под названием “теория Миланковича” следует понимать не нечто эфемерное, а конкретно и обоснованно определённую теорию, и именно эта теория должна быть объективно проанализирована при её “пересмотре”. В этом видится залог дальнейшего успешного развития орбитальной теории палеоклимата.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Большаков В.А.* Новая концепция орбитальной теории палеоклимата. М.: МГУ, 2003.
2. *Roe G.* In defence of Milankovitch // *Geophys. Res. Letters*. 2006. V. 33. P. 1–5.
3. *Bol'shakov V.A., Kapitsa A.P.* Lessons of the Development of the Orbital Theory of Paleoclimate // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2011. № 4. P. 387–396; *Большаков В.А., Капица А.П.* Уроки развития орбитальной теории палеоклимата // *Вестник РАН*. 2011. № 7. С. 603–612.
4. *Clemens S., Tiedemann R.* Eccentricity forcing of Pliocene-Early Pleistocene climate revealed in a marine oxygen-isotope record // *Nature*. 1997. V. 385. P. 801–804.
5. *Guangjian W., Baotian P., Qingyu G., Dunsheng X.* Terminations and their correlation with solar insolation in the Northern Hemisphere: a record from a loess section in Northwest China // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2005. V. 216. P. 267–277.
6. *Grubic A.* The astronomic theory of climatic changes of Milutin Milankovich // *Episodes*. 2006. № 3. P. 197–203.
7. *Milankovich M.* Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen: in *Koppen–Geigersches Handbuch der Klimatologie*. V. 1. Part A. Berlin, 1930.
8. *Миланкович М.* Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.-Л.: ГОНТИ, 1939.
9. *Adhémar J.A.* *Revolutions de la mer: Déluges Périodiques*. Paris: Carilian-Goeury & V. Dalmont, 1842.
10. *Croll J.* *Climate and time in their geological relations: a theory of secular changes of the Earth's climate*. L.: Edward Stanford, 1875.
11. *Большаков В.А.* Ответ на комментарии И.И. Смутьского // *Вестник РАН*. 2013. № 1. С. 40–44.
12. *Milankovitch and Climate*. NATO ASI Ser. C. 126. Dordrecht: Reidel, 1984.
13. *Hays J.D., Imbrie J., Shackleton N.* Variation in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages // *Science*. 1976. V. 194. P. 1121–1132.
14. *Большаков В.А.* Новая концепция астрономической теории палеоклимата: шаг вперёд, после двух шагов назад // *Физика Земли*. 2001. № 11. С. 50–61.
15. *Imbrie J.* Astronomical theory of the Pleistocene Ice Ages: a brief historical review // *Icarus*. 1982. V. 50. P. 408–422.
16. *Milankovitch M.* *Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das iszeitenproblem*. Beograd: Royal Serbian Academy, 1941.
17. *Imbrie J., Imbrie J.Z.* Modelling the climatic response to orbital variations // *Science*. 1980. V. 207. P. 943–953.
18. *Berger A.L., Loutre M.F., Gallee H.* Sensitivity of the LLN climate model to the astronomical and CO₂ forcings over the last 200 ky // *Climate Dynamics*. 1998. V. 14. P. 615–629.
19. *Berger A.* The Milankovitch astronomical theory of paleoclimates: a modern review // *Vistas Astron.* 1980. V. 24. P. 103–122.
20. *Kukla G.* Revival of Milankovitch // *Nature*. 1976. V. 261. P. 11.
21. *Kukla G.* Saalian supercycle, Mindel/Riss interglacial and Milankovitch's dating // *Quaternary Sci. Rev.* 2005. V. 24. P. 1573–1583.
22. *Tabor C.R., Poulsen C.J., Pollard D.* Mending Milankovitch's theory: obliquity amplification by surface feedbacks // *Climat. Past*. 2014. V. 10. P. 41–50.
23. *Paillard D.* Quaternary glaciations: from observations to theories // *Quaternary Sci. Rev.* 2015. V. 107. P. 11–24.
24. *Paillard D.* Glacial cycles: toward a new paradigm // *Revs. Geophys.* 2001. V. 39. P. 325–346.
25. *Paillard D.* On Quaternary glaciations, observations and theories // *Quaternary Sci. Rev.* 2015. V. 120. P. 128–132.
26. *Bol'shakov V.A., Kuzmin Ya.V.* Comment on “Quaternary glaciations: from observations to theories” by D. Paillard // *Quaternary Sci. Rev.* 2015. V. 120. P. 126–128.

27. *Clark P.U., Alley R.B., Pollard D.* Northern Hemisphere Ice-Sheet Influences on Global Climate Change // *Science*. 1999. V. 286. № 5. P. 1104–1111.
28. *Berger A., Li X., Loutre M.* Modeling northern hemisphere ice volume over the last 3 Ma // *Quaternary Sci. Rev.* 1999. V. 18. P. 1–11.
29. *Большаков В.А.* О механизме “среднеплейстоценового перехода” // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2015. Т. 23. № 5. С. 92–109.
30. *Ganopolski A., Calov R.* The role of orbital forcing, carbon dioxide and regolith in 100 kyr glacial cycles // *Clim. Past*. 2011. V. 7. P. 1415–1425.
31. Past Interglacials Working Group of PAGES. Interglacials of the last 800 000 years // *Rev. Geophys.* 2016. V. 54. P. 1–58.
32. *Jouzel J.* A brief history of ice core science over the last 50 years // *Clim. Past*. 2013. V. 9. P. 2525–2547.
33. *Большаков В.А.* Связь глобальных колебаний климата в плейстоцене с вариациями орбитальных параметров Земли // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2014. Т. 22. № 5. С. 97–112.
34. *Большаков В.А.* Орбитальные факторы долгопериодных колебаний климата плейстоцена // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. № 1. С. 43–71.
35. *Lisiecki L.E., Raymo M.E.* A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records // *Paleoceanography*. 2005. V. 20. PA 1003.
36. *Большаков В.А.* Новый способ построения диаграммы палеоклиматических изменений плейстоцена // *Доклады АН. Серия географическая*. 2000. Т. 374. № 5. С. 692–695.
37. *Большаков В.А., Прудковский А.Г.* Совершенствование орбитально-климатической диаграммы как инструмента интерпретации и анализа палеоклиматических записей плейстоцена // *Вестник МГУ. Серия 5. География*. 2013. № 6. С. 30–39.
38. *Shakun J.D., Clark P.U., He F. et al.* Global warming preceded by increasing carbon dioxide concentrations during the last deglaciation // *Nature*. 2012. V. 484. P. 49–54.
39. *Broecker W.S., Denton G.H.* What drives glacial cycles? // *Scientific American*. 1990. V. 262. № 1. P. 49–56.
40. *Ganopolski A., Winkelmann R., Schellnhuber H.J.* Critical insolation- CO_2 relation for diagnosing past and future glacial inception // *Nature*. 2016. V. 529. P. 200–203.

ТОЧКА
ЗРЕНИЯ

НАВИГАЦИЯ ПО РУССКОЯЗЫЧНЫМ ИСТОЧНИКАМ НАУЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ

© 2017 г. В.Г. Шамаев^а, А.Б. Горшков^б

^аМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^бГосударственный астрономический институт им. П.К. Штернберга Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: shamaev08@gmail.com; gorshkov@sai.msu.ru

Поступила в редакцию 05.07.2016 г.

В статье обсуждается проблема русскоязычных источников информационного обеспечения исследований в естественных науках, даётся обзор информационного обеспечения в СССР, отмечается, что с 1990-х годов резко упали тиражи печатных научных изданий и возросла потребность в их присутствии в Интернете. К настоящему времени российскими учёными реализованы такие интернет-ресурсы, как Научная электронная библиотека, Общероссийский математический портал, Информационно-аналитическая система “Наука-МГУ”, Информационная система “Акустика”, сайты многих научных журналов. Обсуждаются проблемы агрегации этих ресурсов и удобного поиска по ним. Предлагается комплекс задач, решение которых будет способствовать улучшению информационного обеспечения научных исследований. Приводятся примеры реализации такого информационного обеспечения в области физики.

Ключевые слова: интернет-ресурсы, информационные поисковые системы, русскоязычные источники, российские научные публикации, электронные документы, базы данных, наукометрический анализ.

DOI: 10.7868/S0869587317070076

В Советском Союзе информационное обеспечение научных сотрудников было государственной задачей. Государство выпускало научные журналы, книги, проводило конференции, содержало научные библиотеки. Информационное обеспечение было разнообразным и в какой-то мере даже

избыточным. Издавались “Труды” институтов и других научных организаций, в которых печатались объёмные статьи, в дополнение к научным журналам выходили “Письма” к ним, как, например, “Письма в ЖЭТФ”. В 1952 г. как вершина информационного обеспечения появился Институт научной информации (с 1955 г. — Всероссийский институт научной и технической информации). В его создании активно участвовал академик А.Н. Несмеянов, занимавший с 1951 по 1961 г. пост президента АН СССР. К слову сказать, сам он в числе главных дел жизни называл строительство нового здания Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, создание Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ) и Института элементарных соединений АН СССР, директором которого оставался до конца своих дней [1]. Важнейшей задачей ВИНИТИ стал выпуск “Реферативного журнала” (РЖ). Его модель удачно копировала журнал “Chemical Abstracts”, что вполне объяснимо, так как А.Н. Несмеянов был химиком, однако в отличие от американского реферативного издания РЖ ВИНИТИ публиковал обзоры не только



ШАМАЕВ Владимир Григорьевич — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. ГОРШКОВ Алексей Борисович — кандидат физико-математических наук, научный сотрудник ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова.

по химии, но и по всем направлениям науки и техники, охватывая также экономику, охрану окружающей среды, информатику и т.д. В то время такого всеобъемлющего агрегатора в мире больше не было. Судя по рисунку 1, в середине 1950-х годов годовое наполнение выпусков “Химия” РЖ ВИНТИ было сравнимо с “Chemical Abstracts” [2–3].

Как было отмечено, «в США многие учёные и политические деятели были убеждены, что главным фактором, который позволил Советскому Союзу первым в мире запустить в 1957 г. искусственный спутник Земли и, таким образом, обогнать США в научно-техническом соревновании, была хорошая постановка в СССР системы распространения научной информации. Это тесно связывалось с созданием ВИНТИ и началом выпуска им “Реферативного журнала”» [3, с. 35]. Совсем неслучайно в Сенате и Палате представителей Конгресса США проводились слушания по созданию “американского ВИНТИ”. В конце 1950-х годов западными информационными службами предпринимались попытки, правда, закончившиеся неудачно, получить права на перевод РЖ на английский язык. Тем не менее идея недостаточности информационного обеспечения была подхвачена в США Ю. Гарфилдом, и в 1960 г. была создана коммерческая организация Eugene Garfield Associates Inc., позднее преобразованная в Институт научной информации (Institute for Scientific Information, ISI). С ним связан выпуск базы данных для получения индекса цитирования Science Citation Index (SCI), а также печатного издания “Current Contents”, в котором представляется содержание только что вышедших научных журналов. Материалы баз данных ISI используются как для получения импакт-факторов научных журналов или рейтингов научных сотрудников, так и для анализа развития направлений в науке и технике.

В ВИНТИ, кроме РЖ, особое место в информационном обеспечении научных исследований занимало составление аналитических обзоров под названием “Итоги науки и техники” (всего их было опубликовано 2648), выходивших на регулярной основе с 1957 по 1992 г. Такие обзоры готовились не только ВИНТИ, но и, например, Обществом “Знание”, издательством “Радио и связь”. С 1955 г. ВИНТИ также готовил, печатал и распространял бюллетени под названием “Экспресс-информация”, в которых помещались сокращённые переводы некоторых зарубежных публикаций. Так, ежемесячный бюллетень “Зарубежные космические комплексы и системы” выходил в качестве приложения к выпуску РЖ “Исследование космического пространства”. С 1967 по 1980 г. выпускалась “Сигнальная информация” — бюллетени, содержащие сведения библиографического характера обо всех текущих статьях, опубликованных в важнейших

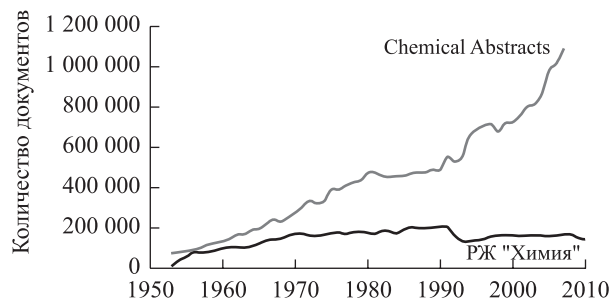


Рис. 1. Наполнение выпусков “Химия” РЖ ВИНТИ в сравнении с “Chemical Abstracts”. 1953–2007 гг.

специально отобранных журналах по определённой отрасли науки и техники, аналог “Current Contents”. Особо следует отметить Центр информационного обслуживания науки и техники (ЦИОНТ), в котором с 1956 г. можно было заказать копии первоисточников по их номеру в РЖ. Только за 1974–1984 гг. ЦИОНТ изготовил 200 млн. страниц копий.

В 1972 г. в качестве одного из видов справочно-информационного обслуживания была создана магнитоленточная служба, а затем началось наполнение Банка данных ВИНТИ. С 1981 г. параллельно “Реферативному журналу” институт начал подготовку баз данных по разным тематическим фрагментам. Полностью все отраслевые отделы включились в подготовку баз данных с 1989 г. В это время ВИНТИ ежегодно публиковал в РЖ информацию о 1,5 млн. документов.

Примерно до конца 1980-х годов ВИНТИ справлялся со своими функциями поставщика информации (рис. 2), а на ранних этапах (в 1950–1960-х годах) и разработчика технологического информационного оборудования. Кстати, в 1961 г. в ВИНТИ была создана служба публикации научных работ через их депонирование. Она осуществляла как приём и хранение рукописей, так и оповещение о них научной общественности и предоставление их копий по запросу. Изначально такой способ публикации преследовал две несомненно важные цели: во-первых, быстрое опубликование информации о научных результатах для закрепления приоритета и, во-вторых, хранение рукописей с результатами исследований, экспериментов, наблюдений, а также методов исследований, которые отклонялись научными журналами по разным причинам, в том числе из-за их большого объёма. Позднее эта форма публикации потеряла своё значение (рис. 3, по материалам [4]).

Такая же работа по депонированию рукописей проводилась в Институте научной информации по общественным наукам (ИНИОН) и в Государственной библиотеке СССР им. В.И. Ленина.

В дальнейшем в мире резко изменилась технологическая база подготовки и распространения

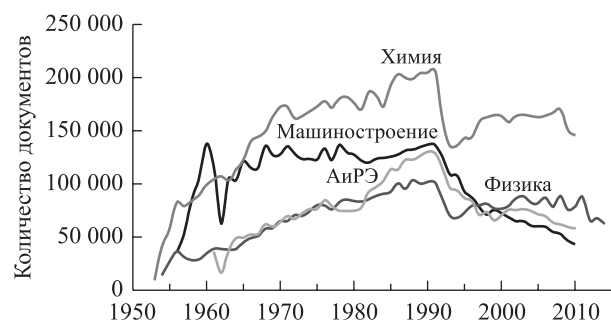


Рис. 2. Наполнение выпусков “Машиностроение”, “Химия”, “Физика”, “Автоматика и радиоэлектроника” РЖ ВИНТИ. 1953–2014 гг.

информационных продуктов. Появилась возможность поиска в информационных базах данных сначала с помощью теледоступа, а вскоре и через Интернет. Начали бурно развиваться сетевые технологии, а обращение к интернет-ресурсам стало доступно каждому научному работнику практически круглосуточно. В нашей стране, хотя и позднее, тоже наметился прогресс в этой сфере, связанный ещё и с тем, что доступность печатной русскоязычной информации резко снизилась, и только крупнейшие научные библиотеки, например, Научная библиотека МГУ им. М.В. Ломоносова или тот же ВИНТИ, имели неплохое наполнение текущей литературой. По этой причине резко повысилась потребность в её электронном виде с выкладкой в Интернет. Если раньше необходимость существования того или иного периодического издания можно было определить по числу его подписчиков, то теперь — по посещению соответствующих сайтов.

За последнее десятилетие многие русскоязычные журналы стали доступны в Сети. Этому способствовало появление Научной электронной библиотеки (<http://elibrary.ru>) [5], Общероссийского математического портала (<http://www.mathnet.ru>) [6], Информационно-аналитической системы “Наука-МГУ” [7] и сайтов журналов. Информационные возможности последних значительно расширяет

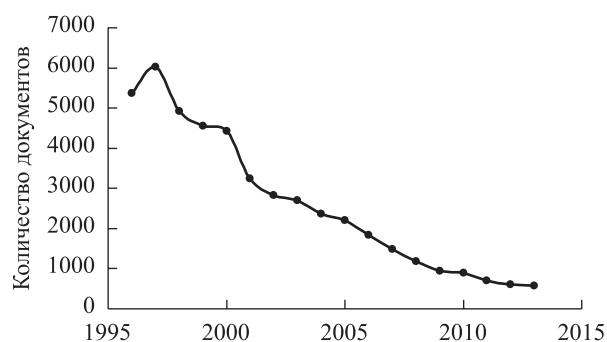


Рис. 3. Динамика поступления депонированных научных работ в ВИНТИ

наличие у них механизма хотя бы простейшего поиска. Как правило, если он есть, то реализуется в виде одного “окна”, позволяющего производить поиск по ключевым словам, что говорит о наличии базы данных журнала и перспективах развития. Отметим в этой связи журналы Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, а также журналы, представленные на портале издательства Сибирского отделения РАН. Облегчает навигацию и рубрикация статей. Так, сайт журнала “Успехи физических наук” (<http://ufn.ru>) представляет собой полноценную информационно-поисковую систему с рубрикой по PACS и возможностью поиска также по авторам и ключевым словам. На сайте размещены все номера журнала, начиная с первого выпуска в 1918 г. Такую же возможность предоставляет и полнотекстовый архив “Акустического журнала” (<http://www.akzh.ru>), который структурирован по выпускам, авторам и рубрикам [8].

Однако навигация по таким электронным ресурсам сама по себе отнимает много времени, поскольку все они пока ещё в значительной степени раздроблены и наблюдается лишь начальная степень их агрегирования. Например, Общероссийский математический портал (Math-Net.Ru) поддерживает сотрудничество с математическими и некоторыми физическими журналами, Российская электронная библиотека (eLIBRARY.RU) выстраивает взаимоотношения с более широким кругом журналов, но с меньшей информативностью в представлении. Требуется целенаправленная работа по объединению и унификации различных русскоязычных информационных ресурсов, и это задача примерно того же уровня, что была решена в СССР в рамках ВИНТИ с использованием мирового опыта и при существовавших тогда технологиях.

Сегодня электронное информационное обеспечение исследований, на наш взгляд, может выглядеть так. Во-первых, необходимо создать полнотекстовые архивы научных журналов с удобным поисковым интерфейсом. Процесс этот трудоёмкий, он требует наличия полных комплектов номеров, которые сегодня нелегко найти. Во-вторых, следует начать выпуск “сигнальной информации”, так как собранные в одном месте сведения по свежим книгам, журналам, конференциям и т.д. позволяют получить представление о состоянии научных работ в той или иной области на данный момент. В-третьих, необходимо запустить информационно-поисковую систему на основе базы данных текущих и ретроспективных документов. Непрерывное пополнение её документами может осуществляться с помощью сигнальной информации, а ретроспективная часть должна поступать как из уже имеющихся, правда разрозненных, баз данных, например, Информационно-аналитической системы “Наука-МГУ”, порталов Math-Net.Ru, eLibrary.ru,

так и в процессе перевода в цифровую форму отечественных журналов доцифровой эпохи. Решению всех этих задач будет способствовать стимулирование работ по теоретическому развитию наукометрии и её практическому применению. Например, в “Вестнике РАН”, держащем руку на пульсе академической науки, за последние несколько лет опубликовано более 30 статей, авторы которых анализируют состояние и тенденции информационных исследований, вообще получения знания [9–12], хотя надо признать, что многие статьи по этой тематике посвящены частным вопросам и не позволяют взглянуть на проблему в целом. К сожалению, книги уровня “Структуры научных революций” Т. Куна в нашей стране пока не появилось.

Примером реализации информационного обеспечения научных исследований может служить портал “Акустика”, включающий в себя три части: «Информационная система “Акустика”». Русскоязычные источники» (<http://akdata.ru>) [13] – база данных русскоязычных статей по акустике; “Архив Акустического журнала” в Интернете (<http://www.akzh.ru>) [14] – полнотекстовая версия; “Акустика. Сигнальная информация” (<http://akinfo.ru>) [15] – отражение состояния акустических исследований в русскоязычном мире. В работах [16, 17] мы отмечали, что закон Бредфорда (рассеяния научных публикаций), по нашим данным, должен записываться не как $1 : x : x^2$, а $1 : x : x^3$. Проведя такое же исследование по базе “Акустика”, положенной в основу информационно-поисковой системы, мы получили подтверждение сделанного ранее вывода (рис. 4). По всей видимости, можно выдвинуть предположение, что, как и при применении закона Ципфа (распределение слов в тексте) к различным языкам, для закона Бредфорда также имеется зависимость от среды (распределение документов в какой-либо тематической области).

Созданная технология и её реализация в виде портала “Акустика”, на наш взгляд, представляет собой успешную систему информационного обеспечения акустических исследований и может быть распространена на все физико-математические науки. Информационно-поисковая система “Акустика” даёт возможность вести интуитивно понятный многопараметрический поиск не только публикаций, но и результатов исследований, проводимых экспериментов, применяемых методов и решений и т.д. Кроме простого предоставления информации, портал “Акустика” позволяет изучать состояние научной области на текущий момент, снимать данные для последующего анализа тенденций в развитии того или иного её направления.

Решением этих проблем занимаются и другие специалисты. В качестве известных нам примеров приведём следующие. МГУ им. М.В. Ломоносова с его информационно-поисковой системой “Истина”

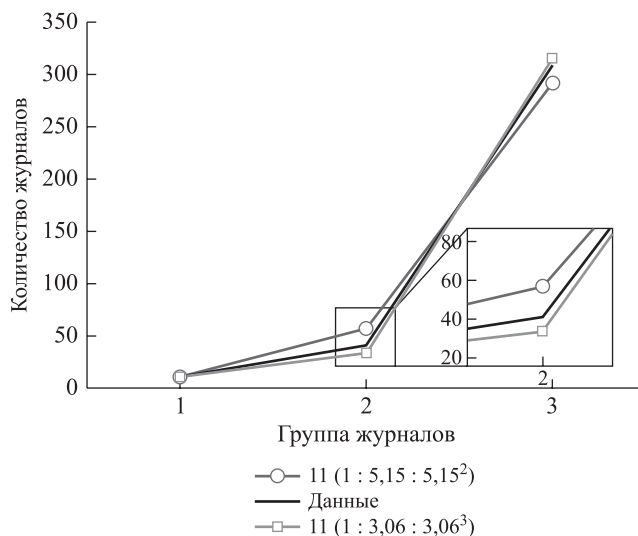


Рис. 4. Проверка закона Бредфорда (рассеяния научных публикаций) на примере акустической тематики (выборка составляет 360 журналов, 12 450 статей)

определяет рейтинги научных сотрудников, оценивает перспективность направлений исследований, проводит конкурсы научных работ и т.д. Математический институт им. В.А. Стеклова РАН с его Math-Net.Ru проводит анализ направлений исследований различных институтов, формирует коллективы авторов по различным тематикам. Научная электронная библиотека публикует российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Все они постоянно совершенствуют свои продукты и услуги.

И в заключение. Недавно руководством ВИНТИ РАН [18] и его сотрудниками [4] сформулированы задачи, которые “нацелены на поднятие престижа системы депонирования за счёт изменения требований к депонированию научных работ, а также использования современных технологий представления депонированных работ в мировом информационном пространстве”, а именно, загрузка в РИНЦ депонированных в ВИНТИ научных работ за последние 10 лет и формирование полнотекстовой Электронной библиотеки депонированных научных работ. Неплохо зная “кухню” ВИНТИ, и в частности работу участка по депонированию, отметим, что предлагается довольно бессмысленный проект по оцифровке малоценного ресурса, хотя и с видимым конкретным результатом. В прежние годы львиную долю депонированных работ составляли те, что не дотягивали до уровня требований, предъявляемых научными журналами. Малая их часть, которая заслуживала внимания, после доработки в дальнейшем увидела свет в виде печатных статей. При существующем в настоящее время слабом наполнении портфелей научных журналов в реальности окажется, что предлагаемая к депонированию статья просто не может

пройти этап рецензирования, который существует в редакциях. Таким образом, цель, которую выдвигают сотрудники ВИНТИ РАН, — поднятие престижа депонирования как способа публикации с помощью формирования Электронной библиотеки депонированных научных работ — неактуальна. Мало кому депонирование нужно, а точнее, только авторам работ, отвергнутых научными журналами. Есть более актуальные задачи. По нашему мнению, если что и делать в этом направлении, то попробовать организовать русскоязычный электронный ресурс по аналогии с ArXiv.org.

Неплохой, на наш взгляд, импульс развитию информационных исследований и созданию российской информационно-поисковой системы типа Web of Science или Scopus может дать передача ВИНТИ РАН под научное руководство Math-Net или Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Эти коллективы своими продуктами доказали, что знают, как организовать работу, какой информационной продукцией обеспечить научных работников, как сделать её доступной пользователям. И не только знают, но и успешно разрабатывают перспективные направления в информатике. Ведь, как мы видим, проблемы навигации по русскоязычным источникам научной информации заключаются в раздробленности попыток их решения, а следовательно, необходимо объединение такого рода работ в едином центре.

Желая ВИНТИ успехов, мы надеемся, что и руководство РАН, и новое руководство ВИНТИ прислушается к рекомендациям, направленным на улучшение информационного обеспечения научной деятельности российских учёных.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гиляревский Р.С., Чёрный А.И.* Создание ВИНТИ — заслуга академика А.Н. Несмеянова. <http://www2.viniti.ru/79-viniti-nesmeyanov> (дата обращения 05.07.2016).
2. *Ефременкова В.М., Круковская Н.В.* 100-летний юбилей Chemical Abstracts Service: факты и цифры // НТИ. Сер. 1. Организация и методика информ. работы. 2007. № 12. С. 24–29.
3. *Чёрный А.И.* Всероссийский институт научной и технической информации: 50 лет служения науке. М.: ВИНТИ, 2005. <http://www.viniti.ru/download/russian/VINITI.50.Year.2005.pdf> (дата обращения 05.07.2016).
4. *Антошкова О.А., Балашова Н.И., Батюшко А.А. и др.* Разработка новых подходов к созданию и ведению системы депонирования и электронного полнотекстового информационного ресурса депонированных научных работ по фундаментальным наукам. 3-я Международная научно-практическая конференция “Научное издание международного
- уровня-2014: Повышение качества и расширение присутствия в мировых информационных ресурсах”. Москва, 19–21 мая 2014 г. <http://conf.neicon.ru/materials/07-domestic2014/140521-Batyuschko.pdf> (дата обращения 05.07.2016).
5. Научная электронная библиотека eLibrary.ru. <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
6. *Жижченко А.Б., Изаак А.Д.* Информационная система Math-Net.Ru. Применение современных технологий в научной работе математика // Успехи математических наук. 2007. № 5. С. 107–132.
7. Информационно-аналитическая система “Наука-МГУ”. <http://istina.msu.ru/media/publications/book/4cd/546/7375366/Istina-book.pdf> (дата обращения 05.07.2016).
8. *Шамаев В.Г., Горшков А.Б.* Проблемы информационного обеспечения научных исследований // Успехи физических наук. 2015. № 11. С. 1235–1240.
9. *Семёнов В.В.* Нынешние реалии реферативного журнала // Вестник РАН. 2010. № 4. С. 337–341.
10. *Малинецкий Г.Г., Маненков С.К., Митин Н.А., Шишов В.В.* Когнитивный вызов и информационные технологии // Вестник РАН. 2011. № 8. С. 707–716.
11. *Чудова Н.В.* Померяться “хиршами”, или О новом цивилизационном вызове // Вестник РАН. 2014. № 5. С. 462–464.
12. *Финкельштейн А.В.* Хирш и РАН // Вестник РАН. 2015. № 2. С. 177–178.
13. *Шамаев В.Г., Горшков А.Б., Шамаев Н.В.* Информационная система “Акустика”. Русскоязычные источники (<http://akdata.ru>) // Акустический журнал. 2015. № 2. С. 416–420.
14. *Шамаев В.Г., Горшков А.Б., Жаров А.В.* Архив “Акустического журнала” в Интернете (www.akzh.ru) // Акустический журнал. 2013. № 2. С. 283–288.
15. *Шамаев В.Г., Горшков А.Б., Шамаев Н.В.* Проект “Акустика. Сигнальная информация” (<http://akinfo.ru/>) // Акустический журнал. 2014. № 1. С. 109–114.
16. *Шамаев В.Г.* Количественные характеристики некоторых тематических фрагментов БД ВИНТИ РАН через призму законов Бредфорда и Ципфа // НТИ. Сер. 1. Организация и методика информ. работы. 2011. № 3. С. 12–15.
17. *Шамаев В.Г.* Инфометрическое исследование документального потока по физико-математическим и некоторым другим наукам, отражённым в РЖ ВИНТИ РАН // НТИ. Сер. 2. Информационные процессы и системы. 2011. № 1. С. 24–30.
18. *Биктимиров М.Р., Гиляревский Р.С., Сюнтюренок О.В.* Новая концептуальная основа развития информационной деятельности ВИНТИ РАН. <http://www2.viniti.ru/114-news/109-novaya-kontseptualnaya-osnova-razvitiya-informatsionnoy-deyatelnosti-viniti-ran> (дата обращения 05.07.2016).

ПРОБЛЕМЫ
ЭКОЛОГИИ

ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ГОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ –
ПЕРСПЕКТИВА РАЗРЕШЕНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОТИВОРЕЧИЙ
ПРИ ОСВОЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ЛИТОСФЕРЫ

© 2017 г. К.Н. Трубецкой^а, Ю.П. Галченко^б

^а Президиум Российской академии наук, Москва, Россия

^б Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва, Россия

e-mail: krasavin_08@mail.ru, schtrek33@mail.ru

Поступила в редакцию 31.10.2016 г.

Стремительно углубляющийся экологический кризис, порождённый антагонистическими противоречиями между ограниченными биологическими и минеральными ресурсами Земли и неограниченным ростом потребностей развивающейся технократической цивилизации, предопределяет необходимость поиска путей устранения этих противоречий во всех областях хозяйственной деятельности человека. Авторы публикуемой ниже статьи предлагают решение подобных проблем в области минерально-сырьевых ресурсов путём изменения технологической парадигмы комплексного освоения недр за счёт создания и применения природоподобной технологии разработки месторождений, методологической основой которой является гомеостатическая трансформация принципов существования биологических систем в функциональную структуру геотехнологии.

Ключевые слова: техносфера, биосфера, гомеостаз, гомеостат, биота, экосистема, геотехнологии, конвергенция, природоподобные технологии.

DOI: 10.7868/S0869587317070088

Эволюционное преобразование *homo habilis* в *homo sapiens* ознаменовало коренную смену способа усвоения энергии Солнца. Вначале человек получал её, потребляя биомассу, произведённую на других уровнях пищевой пирамиды в рамках замкнутого природного цикла обращения вещества и энергии. Затем он стал целенаправленно разрушать равновесные биологические системы

первичной биоты и заменять их искусственно равновесными экосистемами хозяйственного назначения, в которых локальное равновесие поддерживается путём приложения человеческого труда. Именно здесь скрывается глобальное противоречие между техносферой и биосферой. Человек, осознавая себя частью природы и стремясь к её сохранению в интересах будущих поколений, по способу получения энергии Солнца является антагонистом природы и может существовать как биологический вид только за счёт её разрушения.

За последние 100 лет при увеличении народонаселения Земли в 4,5 раза годовая добыча вещества из литосферы на каждого жителя планеты возросла более чем в 22 раза, а общая годовая добыча достигла величины, соизмеримой со среднегодовым приростом биомассы всех материковых экосистем. Более половины, а в некоторых отраслях до 90% извлечённого вещества переходит в твёрдые отходы и складывается на земной поверхности со всеми вытекающими отсюда катастрофическими экологическими последствиями [1]. Очевидно, что такой характер получения и потребления минеральных ресурсов (на основе экстенсивного “проживания” накопленных в ходе эволюции планеты



ТРУБЕЦКОЙ Климент Николаевич — академик РАН, советник РАН. ГАЛЧЕНКО Юрий Павлович — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ИПКОН РАН.

запасов вещества и энергии) всегда будет связан с рядом проблем и неразрешимых противоречий. При подобной форме конфликта между природой и человеком совместное их существование возможно только при реализации принципа равных возможностей для развития техно- и биосферы. Этот принцип определён академиком Н.Н. Моисеевым как “стратегия коэволюции” антагонистических по своему внутреннему содержанию систем [2]. В её рамках невозможно полностью преодолеть глобальное противоречие, но в современных условиях вполне возможно и совершенно необходимо придать ему неразрушительную для живой природы форму путём создания принципиально новых технологий, которые не наносят необратимого ущерба естественной биоте и позволят в перспективе восстановить нарушенный человеком баланс между производством и потреблением природных ресурсов с учётом ограничений экологического императива.

Проведённые нами систематизация и анализ возможностей существующих технологических решений показывают, что на современном уровне технологического развития управление воздействием всех видов горных работ на окружающую среду с целью сохранения естественной биоты Земли представляет собой систему действий по ликвидации последствий применения геотехнологий, построенных на основе узкоспециальных знаний и выбранных только по технико-экономическим признакам. Поэтому в рамках этих принципов построения геотехнологий методом введения в их состав дополнительных природоохранных технологических процессов можно решить любую экологическую задачу, но всегда ценой усложнения технологии и появления дополнительных экологических проблем в других сферах. Даже так называемые “безотходные технологии” не способны разрешить глобальные противоречия между человеком и природой. При нынешней несбалансированности производства, потребления и естественных циклов биосферы подобные меры могут лишь отсрочить момент, когда кардинальная перестройка принципов функционирования техносферы в соответствии с естественными циклами биосферы станет жизненно важной необходимостью.

В методологическом плане это означает, что требования по сохранению природной среды при освоении недр надо предъявлять не к отдельным технологическим процессам — они должны быть заложены в основу общей парадигмы построения геотехнологий таким образом, чтобы экологическая безопасность стала неотъемлемым свойством геотехнологии. При этом положения такой парадигмы не должны вступать в противоречие с естественными законами функционирования

биологических систем, являющихся объектами экологической защиты.

Идея создания подобных технологий в самом общем виде была определена ещё академиком В.И. Вернадским, который впервые обозначил проблему взаимосвязанного развития производства и природы в границах ноосферы [3]. Развивая эти идеи применительно к проблемам формирования минерально-сырьевого базиса нашей цивилизации и опираясь на гипотезу о том, что уровень безопасности техногенных геосистем по отношению к биологическим системам пропорционален степени единообразия основополагающих принципов функционирования обеих систем [4], можно легко адаптировать к этим условиям известное понятие “природоподобные” (конвергентные) технологии [5] и, двигаясь по пути синтеза таких технологий, обеспечить комплексное освоение земных недр без необратимых экологических последствий.

Естественная биота Земли развивается согласно законам, действие которых не может быть произвольно изменено человеком. Они видоизменяются, усложняются при переходе от одного уровня организации живой материи к другому, но общая схема и принципы функционирования биосистем, обеспечивающие их экологичность и эволюционное развитие, остаются прежними [6]. Характерной особенностью любой биологической системы является то, что вещество внутри неё может многократно использоваться, а энергия поступает извне в виде солнечного излучения и необратимо превращается в тепло в процессе метаболизма. Каждая экосистема состоит из двух компонентов — организмов (биота) и факторов окружающей среды (абиота). Несмотря на безграничное разнообразие экосистем, их биологическая структура построена по единой схеме и включает в себя одни и те же категории организмов, стереотипно взаимодействующих друг с другом.

Функционирование природно-равновесных экосистем основано на большом и малом круге биотического обмена. Это безостановочный процесс закономерного, циклического, но неравномерного во времени и пространстве перераспределения вещества и энергии, многократно входящих в непрерывно обновляющиеся биосферные или элементарные биологические системы. Поэтому первый принцип функционирования этих систем (с учётом характера взаимодействия и роли организмов в экосистемах) можно сформулировать так: *получение ресурсов и переработка отходов происходят в рамках замкнутого круговорота всех элементов* [6].

Основная часть потока солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли, обуславливает физическую циркуляцию подвижных элементов

абиоты, остальная энергия, усваиваемая фотосинтезирующими живыми системами, обеспечивает циркуляцию биогенов в природных экосистемах. Если расположить составляющие их организмы в соответствии с пищевыми взаимоотношениями, указав для каждого уровня “вход” и “выход” энергии и биогенов, станет очевидно, что чем ниже трофический уровень, тем больше биомасса данной категории организмов. В этом заключается суть второго принципа функционирования биосистем: *на каждом трофическом уровне производится только новая биомасса, количество которой обратно пропорционально длине пищевых цепей* [6].

Как известно, все биологические системы обладают пороговым состоянием, переход через которое ведёт к резкому качественному изменению протекающих в них процессов — к изменению их организации. Данная особенность пороговых (бифуркационных) механизмов играет совершенно особую роль в развитии биосистем. При переходе через бифуркационное состояние биологическая система как бы забывает (или почти забывает) своё прошлое. Происходит разветвление путей эволюции, и обратного хода уже нет. *Положение о необратимом характере биологической эволюции*, известное как закон Л. Долло, составляет суть третьего принципа функционирования всех составляющих естественной биоты Земли [6].

Важнейшее свойство природных экосистем — устойчивость, которая обеспечивается благодаря тому, что соотношения всех компонентов определяются динамическим равновесием между биологическим потенциалом популяций и сопротивлением окружающей среды. Изменение внешних условий приводит к развитию сукцессии, которая завершается стадией климаксовой экосистемы. На этой стадии все виды, размножаясь, сохраняют относительно постоянную численность, а экосистема — видовое разнообразие [6]. В сухопутных экосистемах роль продуцентов играют растительные сообщества — фитоценозы. Каждый из них имеет совершенно одинаковую внутреннюю структуру, состоящую из трёх систем видов растений, различных по своей ценотической значимости — эдификаторной, ассектаторной и адвентивной, из которых первая определяет видовой состав и направление циклической сукцессии всего фитоценоза [7]. Исходя из сказанного, четвёртый принцип существования экосистем можно сформулировать так: *устойчивость и жизнеспособность экосистем определяются состоянием их фитоценоза*, структура и видовой состав которого зависят от его эдификаторной синусии [6, 7].

Поток энергии в природных экосистемах полностью соответствует началам термодинамики. Энергия солнечного света превращается в химическую

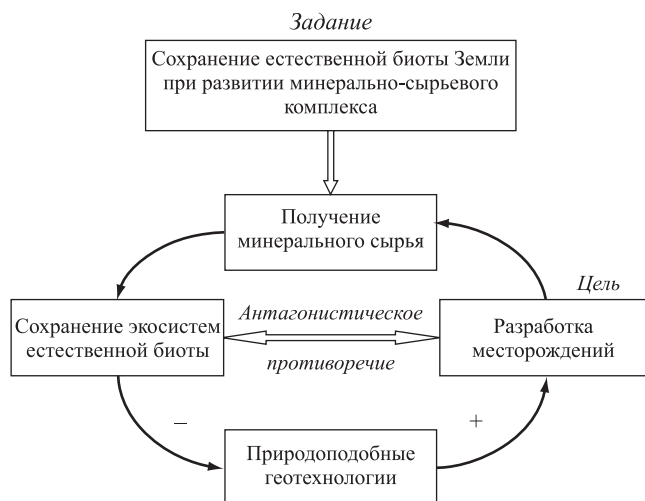


Рис. 1. Методология гомеостатического регулирования в природно-технической системе с соблюдением паритета интересов

± — согласованные управляющие факторы в противофазе

в результате фотосинтеза, а химическая — в другие формы при прохождении пищевых цепей. При этом потребляется далеко не самая большая доля общей энергии Солнца, основное её количество расходуется на нагревание поверхности планеты. Это тепло служит движущей силой циркуляции водных и воздушных масс и в конце концов рассеивается в космическом пространстве. Отсюда следует пятый принцип функционирования экосистем: *они существуют за счёт не загрязняющей среду и практически вечной солнечной энергии*, количество которой относительно постоянно и избыточно [6].

Применительно к рассматриваемой нами проблеме построения природоподобной геотехнологии разработки месторождений в качестве антагонистов выступают естественная биота Земли и технократическая антропогенная система извлечения сырья и энергоносителей из литосферы. В отличие от традиционной бионики — стремления человека воссоздать процессы, устройства или приборы, которые копируют возможности природы, природоподобные геотехнологии как основа природно-технических систем освоения недр базируются на смысловой трансформации и переносе в техносферу только общих принципов функционирования биологических систем. Поэтому, учитывая антагонистический характер противоречий между техно- и биосферой, методологию решения проблемы целесообразно строить на известных положениях гомеостатики — на поддержании жизненно важных параметров взаимодействующих систем путём управления противоречиями (рис. 1).

Гомеостатические механизмы, если сказать простыми словами, являются результатом интеграции (“склеивания”) по определённым правилам двух

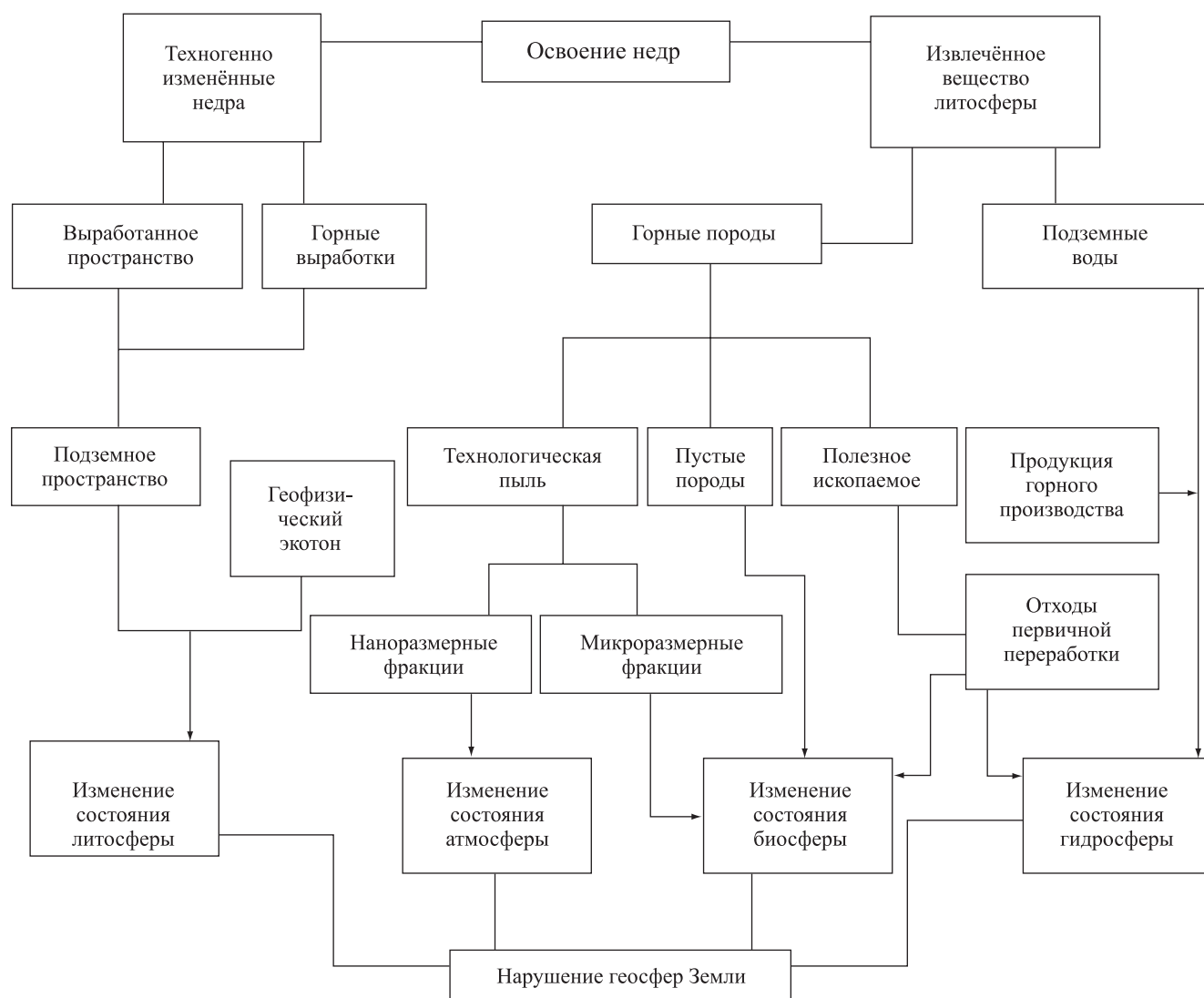


Рис. 2. Структура экологически опасных антропогенных новообразований, возникающих при освоении минеральных ресурсов недр Земли

антагонистов. Такая система в дальнейшем окажется устойчивой, несмотря на то, что каждый антагонист сам по себе может быть неустойчивым. Основное условие устойчивости системы – паритет требований и ограничений каждой её составной части. В общеметодологическом плане гомеостатический подход даёт возможность синтеза противоположностей [8]. Применительно к взаимоотношениям человека и природы это означает, что два антагониста не противопоставляются друг другу, а объединяются в единую систему, в которой гармония между компонентами достигается за счёт ограничения техногенных воздействий толерантностью структурообразующих элементов биоты экосистем [4].

Используя такой подход, можно перенести биологическую информацию в техносферу путём поэтапного формирования геотехнологического гомеостата (самоорганизующейся системы) на основе

структуры гомеостата биологического с заменой его содержательных элементов на геотехнологические целевые аналоги. Результатом такого регулирования станет построение природоподобной геотехнологии освоения недр, которая за счёт трансформации биогенных принципов функционирования экологически чистых природных систем обеспечит создание технических систем, позволяющих ограничивать внешние экологические воздействия условиями постэксплуатационного самовосстановления фитоценозов естественной биоты [1].

Разработка любого месторождения полезных ископаемых сопровождается перемещением огромных масс горных пород, которое приводит к формированию двух масштабных антропогенных новообразований, кардинально изменяющих состояние литосферы и биосферы нашей планеты (рис. 2). Во-первых, это техногенно изменённые недра –

участки литосферы, утратившие свою идентичность в результате добычи полезного ископаемого. Во-вторых, это извлечённое на поверхность вещество литосферы, несущее прямую экологическую угрозу, изменяющее состояние биосферы, атмосферы и гидросферы. Из приведённой на рисунке 2 схемы следует, что восстановление экологического состояния литосферы возможно только путём заполнения искусственно созданного подземного пространства, а сохранение биосферы и других геосфер требует прекращения депонирования в них не использованной в техносфере части вещества, извлечённого из литосферы. Поэтому, по аналогии с первым из обозначенных выше принципов функционирования биосистем, можно сформулировать следующее обязательное требование к природоподобной геотехнологии: она должна представлять собой *замкнутый цикл обращения вещества*, извлекаемого в процессе разработки месторождений.

При добыче рудного сырья большая частьработанной горной массы остаётся на месте в виде отходов. При добыче топлива и строительных материалов практически всё увозится с места добычи и включается в оборот других регионов. Складируемые на поверхности твёрдые отходы рудодобывающей промышленности образуют отвалы и хвостохранилища, которые оказывают катастрофическое воздействие на природную среду, происходит полное уничтожение биоты. В этой связи обеспечение экологической безопасности горного производства потребует принятия кардинальных горнотехнических мер, исключающих накопление твёрдых отходов на земной поверхности. Одним из путей решения этой экологической проблемы, например, при подземной разработке месторождений, является перевод выработанного пространства из категории потенциального ресурса в категорию ресурса реального путём изменения порядка разработки месторождения, когда последовательная выемка горизонтов сверху вниз заменяется отработкой снизу вверх. Несложный расчёт показал, что для большинства геологических типов рудных месторождений (за исключением тонкожилых) в пустотах, образованных при отработке запасов одного горизонта, можно разместить практически весь объём пустых пород и хвостов обогащения, которые были получены при отработке предыдущего горизонта. Преимущества такого подхода очевидны, так как он позволяет ликвидировать основную часть хранилищ отходов на поверхности и таким образом в какой-то мере решить экологические проблемы.

Следует отметить, что упомянутый принцип организации и функционирования горного производства прорабатывается в виде отдельных научных, технических и технологических задач достаточно давно, но реализуется сейчас в масштабах, не соответствующих важности рассматриваемой

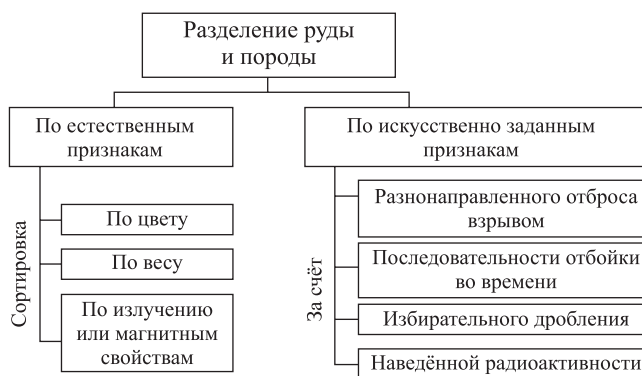


Рис. 3. Классификация способов отделения руды от породы

проблемы. Горные науки располагают довольно широким диапазоном возможностей построения подобных технологий, но их практическое применение носит пока локальный по месту и времени характер. Основной причиной такого положения вещей является отсутствие не только необходимых технологий, но и соответствующих законов и нормативных актов, отражающих заинтересованность общества в реальном сохранении естественной биоты планеты.

Интеграция второго биотического принципа в техносферу возможна, если понятие “продуцированная биомасса” заменить его целевым геотехнологическим аналогом – “полезное ископаемое”. Тогда принцип построения геотехнологии будет формулироваться как требование добывать и выдавать на поверхность в чистом виде только то полезное ископаемое, ради которого создан техногенный объект. В практике горных работ эта идея в той или иной степени реализуется достаточно давно под названием избирательной (селективной) выемки [9]. Общая концепция развития этого направления заключается в том, что уровень избирательности добычных работ путём целенаправленного выбора или создания технологических решений приводится в соответствие с характером и уровнем изменчивости естественного распределения полезного ископаемого в литосфере. При этом есть возможность сегрегации горной массы на руду и породу по естественным или искусственным признакам до выдачи её на поверхность (рис. 3).

Из принципа соответствия избирательности технологии и неравномерности оруденения становится очевидно, что каждому сочетанию типа неравномерности оруденения и способа разделения руды и породы должно соответствовать технологическое решение, реализуемое на одной из стадий ведения добычных работ. При ужесточении экологических ограничений данное технологическое направление станет одним из наиболее эффективных средств

снижения техногенной нагрузки на естественную биоту Земли.

Действие закона Л. Долло в биологических системах выражается в том, что при накоплении критического объёма негативных внешних факторов развитие сукцессии изменяется в направлении, исключающем влияние этих факторов. В результате видовая структура биоты после прохождения точки бифуркации уже не будет от них зависеть. Руководствуясь этой особенностью живых систем при разработке природоподобных технологий, можно сформулировать положение о поэтапном отказе от выполнения наименее эффективных процессов и операций путём изменения общей структуры геотехнологий во времени и пространстве. Это принцип *превентивности при реализации технологических решений*.

Принцип превентивности решений трансформируется в идею построения природоподобной геотехнологии, которая заключается в опережающем выделении зоны техногенного разрушения литосферы из общего поля изменений геофизического состояния массива за счёт разделения во времени процессов добычи полезного ископаемого и процессов преодоления последствий геомеханического возмущения прилегающих участков литосферы.

Совершенствование изложенных выше положений представляет собой теоретическую основу нового научного направления — каркасной геотехнологии подземной разработки месторождений, которая включает детерминированную систему технологических кластеров различного назначения, взаимодействия которых во времени регулируются биогенными принципами [10].

Применение общих биологических принципов к построению каркасной геотехнологии открывает перспективы решения экологических проблем, возникающих при разработке рудных месторождений:

- опережающее возведение несущей каркасной конструкции обеспечивает сохранность налегающей толщи пород и земной поверхности при последующей выемке основных запасов;
- ограждение зоны ведения добычных работ до их начала позволяет максимально сохранить все флюидонесущие горизонты и защитить горные работы от их влияния;
- формирование выработанного пространства в виде системы искусственно оконтуренных полостей полностью устраняет причины возникновения технологических потерь полезного ископаемого и создаёт условия для размещения в них любых видов промышленных отходов.

Четвёртый принцип функционирования биологических систем, в соответствии с которым

устойчивость и жизнеспособность экосистем определяются состоянием их фитоценоза, относится не к внутреннему содержанию технологических решений, а представляет собой дополнительный критерий, обуславливающий их выбор. Применительно к процессу освоения минеральных ресурсов это означает, что наряду с формированием новых геотехнологий необходимо иметь систему регулирования взаимодействия техно- и биосферы по показателям и критериям, отражающим свойства и реакцию естественной биоты на техногенные факторы горного производства. Создание такой системы потребует решения двух фундаментальных научных задач. Во-первых, необходимо перевести общую методологию трансформации ограничений уровня техногенного воздействия на основные элементы природных экосистем в технические нормы, а также разработать конкретные методики расчёта этих норм. Во-вторых, важно создать принципиально новую систему оценки степени экологической опасности горного производства для природной среды, которая учитывала бы не только разнообразие форм техногенных воздействий, но и разнообразие функционального назначения и биологической структуры нарушаемых экосистем.

Решение этих задач возможно только на основе методов количественной оценки степени техногенного нарушения биоты природно-равновесных экосистем. В зонах так называемой “второй природы” вполне реально оценить экологический вред через денежный эквивалент (посредством снижения продуктивности сельского или любого другого хозяйства), но ценность всего живого при разрушении природных экосистем невозможно измерить в деньгах.

Целесообразны создание и применение денежного критерия оценки экологических последствий промышленной деятельности, в том числе и освоения недр. Величина этого показателя должна стать наряду с ценой обязательной характеристикой каждого товара, продукта или изделия, а обществу следует декларировать и бороться всеми доступными методами за минимизацию этого показателя. Только тогда появится побудительный (а не принудительный) импульс к поиску технологий с наименьшей “природоёмкостью”, точно так же, как глобальное декларирование минимума затрат направило технический прогресс к снижению расхода материальных и трудовых ресурсов.

Рассматривая возможную смысловую структуру такого показателя, целесообразно исходить из сформулированного выше положения о том, что любая промышленная деятельность в границах природно-равновесных экосистем естественной биоты неизбежно сопровождается полным или частичным её разрушением на какой-то территории.

Поэтому показателем, характеризующим соотношение площади техногенного разрушения биоты к площади полного поражения биоты (V категории нарушенности по [4]), можно оценить экологические свойства любого производства. При этом вводится понятие экологической цены конечного продукта, выраженной через удельную величину приведённой площади полного поражения биоты при эксплуатации месторождения. Для подземного способа разработки рудных месторождений экологическая цена конечного продукта ($Ц_{\text{э}}$) определяется из выражения [4, 11]:

$$Ц_{\text{э}} = \frac{S - \Delta S_{\text{от}}}{A_r T} + \sum p_i Ц_{\text{э}i} \left[\frac{m^2}{\text{тонну концентрата}} \right],$$

где $S = S_T + S_{\text{жс}} + S_d$ – общая площадь техногенного поражения, m^2 ; S_T – приведённая площадь поражения биоты, m^2 ; $S_{\text{жс}}$, S_d – площадь изъятия поверхности под жилой фонд и дорожную сеть соответственно, m^2 ; $\Delta S_{\text{от}}$ – снижение площади техногенного поражения за счёт возврата части отходов в подземное пространство, m^2 ; A_r , T – объём годовой добычи и время существования рудника соответственно; p_i – удельный расход каждого вида материалов, энергии и оборудования; $Ц_{\text{э}i}$ – экологическая цена каждого вида материалов, энергии и оборудования.

Пятый из обозначенных выше биологических принципов отражает тот факт, что природоподобная геотехнология в идеале должна функционировать полностью за счёт энергии естественных (глобальных) возобновляемых источников.

Очевидно, что сегодня практически безальтернативным способом модернизации энергетической базы технократической цивилизации является развитие методов эффективного хозяйственного использования природных возобновляемых источников энергии. В каждой сфере хозяйственной деятельности это развитие будет иметь специфику, связанную с особенностями и характером реализуемых технологических процессов. Исследования по данной теме (применительно к разработке месторождений твёрдых полезных ископаемых) ведутся в Институте проблем комплексного освоения недр РАН [12]. Было показано, что использование возобновляемых источников энергии в процессе освоения минеральных ресурсов недр возможно по двум основным направлениям: организация общего энергоснабжения добывающих предприятий; создание системы энергосбережения в процессе ведения добычных работ.

В первом случае речь идёт о предпочтительном строительстве электростанций в комплексе с добывающими предприятиями. Безусловно, наиболее реалистичный вариант – создание малых гидроэлектростанций различных типов, особенно

в условиях Сибири и Дальнего Востока, располагающих практически неограниченными гидроэнергетическими ресурсами. Развитие этого направления энергосбережения вполне соответствует современной тенденции строительства малых добывающих предприятий при вахтовом методе их эксплуатации.

Использование энергии возобновляемых природных источников также открывает перспективу снижения энергозатрат в процессе добычных работ. Гравитационная отбойка (технология самообрушения руды) имеет очень долгую историю, но в современных условиях используется весьма ограниченно. Тем не менее реализация идеи построения каркасных геотехнологий открывает совершенно новые пути для более широкого использования гравитационной отбойки при подземной разработке месторождений.

Согласно общепринятому определению понятия “возобновляемые источники энергии”, в эту категорию попадают источники, существующие постоянно или периодически возникающие в окружающей среде. Применяемые методы освоения недр представляют собой последовательность действий или процессов, обеспечивающих отделение от массива литосферы хозяйственно значимого объёма материала и его перемещение от места залегания на земную поверхность. Геотехнология разработки конкретного месторождения обычно имеет такую функциональную структуру, в которой при сохранении этой направленности движения вещества всегда нужно организовывать нисходящие (встречные) потоки раздробленной горной массы, шахтных флюидов и закладочных смесей различного состава. В данном контексте можно говорить о периодически возникающих потоках энергии, которые в данной работе определены нами как локальные источники возобновляемой энергии. В отличие от постоянно существующих источников, которые идентифицированы в [12] как глобальные, энергия локальных источников в силу ряда особенностей не может быть использована напрямую в основных технологических процессах горного производства, но открывает широкие возможности для частичной компенсации общетехнологического потребления электроэнергии.

Техническая реализация всех этих форм использования энергии возобновляемых природных источников требует тщательной проработки, включая создание специальных систем электрогенераторов, однако потенциальные возможности ресурсосбережения на их основе оцениваются достаточно высоко [12].

Не менее масштабным, чем гравитация Земли, глобальным возобновляемым источником

энергии является постоянный поток солнечного излучения. Этот огромный энергетический ресурс распределён по поверхности планеты неравномерно. Если на экваторе плотность потока солнечной энергии максимальна, то в высоких широтах — минимальна. В результате на обширных территориях материков, особенно в Северном полушарии, среднегодовая температура отрицательная. Именно разница теплового баланса фактически и есть возобновляемый источник энергии. Его можно рассматривать как одну из форм использования солнечного излучения, при этом энергетическую ценность представляет собой не само излучение, а его недостаток. Поэтому целесообразно ввести понятие “криогеоресурс”, под которым понимается географически и климатически обусловленная отрицательная температура наружного воздуха и разрабатываемого массива горных пород. Криогеоресурс в свою очередь делится на две составляющие — климатическую и геологическую, каждая из которых изменяется во времени и пространстве по собственным законам и оказывает разное влияние на выбор технологических решений. Реальные перспективы создания и применения геотехнологий с замкнутым циклом обращения твёрдого вещества в виде тонкодисперсных отходов появляются при разработке месторождений в криолитозоне. Её температурный ресурс может быть использован для замораживания подаваемого в подземное пространство материала и восстановления таким образом массива многолетней мерзлоты, нарушенного при извлечении полезного ископаемого.

Известно, что в биологических системах экологическая чистота достигается при одновременном действии всех обозначенных выше общих принципов. Поэтому при создании природоподобных геотехнологий важно учитывать в них все функциональные биогенные принципы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П.* Геоэкология освоения недр и экогеотехнологии разработки месторождений. М.: Научтехлитиздат, 2015.
2. *Моисеев Н.Н.* Человек и ноосфера. М.: Молодая гвардия, 1990.
3. *Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 1969.
4. *Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И.* Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. М.: Научтехлитиздат, 2003.
5. *Ковальчук М.В.* Конвергенция наук и технологий. Прорыв в будущее // Российские нанотехнологии. 2011. № 1–2. С. 13–23.
6. *Небел В.* Наука об окружающей среде. М.: Мир, 1993.
7. *Сукачёв В.Н.* Основные понятия биогеоценологии. М.: Наука, 1964.
8. *Горский Ю.М.* Основы гомеостатики. Иркутск: Изд-во ИГЭА, 1988.
9. *Галченко Ю.П., Сабянин Г.В.* Проблемы геотехнологии жильных месторождений. М.: Научтехлитиздат, 2011.
10. *Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P., Sabjanin G.V.* Concept of subsurface development of bowels of the earth on the basis of “framework” geotechnology // 21st world mining congress. 2008. Session 15. P. 309–317.
11. *Trubetskoi K.N., Galchenko Yu.P.* Methodological basis of ecological safety standards for the technogenic impact of mineral resource exploitation // Russian journal of ecology. 2004. V. 35. № 2. P. 65–70.
12. *Рыльникова М.В., Галченко Ю.П.* Возобновляемые источники энергии при комплексном освоении недр. М.: ИПКОН РАН, 2015.

ЭТЮДЫ ОБ УЧЁНЫХ

ОСНОВОПОЛОЖНИК ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МИКРОБИОЛОГИИ

К 150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА Г.А. НАДСОНА

© 2017 г. Т.А. Курсанова

Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН

e-mail: kursanovata@mail.ru

Поступила в редакцию 05.10.2016 г.

С именем выдающегося ботаника, микробиолога и генетика академика Г.А. Надсона связано открытие интродуцированного (искусственного) мутагенеза. Его по праву можно считать основоположником не только радиационной генетики, но и радиационной селекции. К сожалению, научные заслуги Георгия Адамовича не уберегли его, как и многих великих учёных, от волны сталинских репрессий. Тем не менее, пожертвовав собой ради науки, он положил начало исследованиям во многих областях, передал бесценные знания будущим поколениям учёных.

Ключевые слова: Г.А. Надсон, радиационный мутагенез, Институт микробиологии АН СССР.

DOI: 10.7868/S086958731707009X



Георгий Адамович Надсон занимает почётное место среди основоположников общей микробиологии. Если работы его предшественников М.С. Воронина, А.А. Ячевского, С.Н. Виноградского, Б.Л. Исаченко хорошо известны, то его

собственные научные заслуги были надолго забыты. Даже новаторские труды в области экспериментального мутагенеза долгое время развивались без признания авторства Надсона. То же произошло и с другими его выдающимися исследованиями и идеями: “Ими широко пользовались, но о его авторстве умалчивалось. В результате человек, отдавший всю свою жизнь науке и много сделавший для неё, остался почти неизвестным для нашей научной молодёжи, которая могла бы многое почерпнуть из его наследия” [1, с. 5]. Причиной тому послужила его трагическая судьба, которую можно проследить по архивным материалам Института микробиологии АН СССР, протоколам и стенограммам заседаний Президиума АН СССР. Только в 1967 г. Институт микробиологии опубликовал “Избранные труды” Надсона в связи со 100-летием со дня его рождения. В 1975 г. во 2-м томе “Истории биологии” было упомянуто об открытии Надсона. Дата смерти была указана неверно — 5 декабря 1940 г. Эта же дата была дана и в Большой советской энциклопедии, и в других справочниках, например, в биографическом справочнике “Биологи” 1984 г. и даже в справочнике “Академия наук. Персональный состав” (т. 1, 2. М.: Наука, 1974). Точная дата и место гибели впервые установлены обществом “Мемориал”.

КУРСАНОВА Татьяна Андреевна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник ИИЕТ РАН.

Санкт-Петербург. Открытие радиационного мутагенеза. Г.А. Надсон родился в Киеве 23 апреля

1867 г. в православной купеческой семье. Учился вначале во 2-й Киевской гимназии, а затем, когда семья в 1879 г. переехала в Санкт-Петербург, в 5-й Санкт-Петербургской гимназии, которую окончил в том же 1879 г. со средними оценками. Он поступил на физико-математический факультет Императорского Санкт-Петербургского университета на отделение естественных наук, который окончил в 1889 г. с дипломом I степени и золотой медалью за сочинение по физиологии растений, и был оставлен для подготовки к получению профессорского звания на кафедре ботаники, которую возглавлял крупнейший физиолог растений А.С. Фаминцын. Надсон увлёкся изучением физиологии низших организмов и остался верен этой тематике до конца своей научной деятельности.

В университете Г.А. Надсон исполнял обязанности хранителя Ботанического кабинета и ассистента при кафедре анатомии и физиологии растений, в 1892–1895 гг. состоял ассистентом при кафедре морфологии и систематики споровых растений, где руководил практическими занятиями и специальными исследованиями студентов.

Весной 1892 г. Надсон был командирован за границу, но за свой счёт и с собственным планом научных занятий. Около полугода он работал в Гейдельберге в зоологической лаборатории профессора О. Бючли, где изучал цитологию бактерий и циановых водорослей, в физиологической лаборатории профессора В. Кюне — по вопросам, касавшимся природы ферментов и пигментов растений. Кроме того, он посетил ряд ботанических лабораторий для ознакомления с постановкой преподавания ботаники. Вернувшись в Санкт-Петербургский университет, Надсон защитил диссертацию “О строении циановых водорослей” на соискание степени магистра ботаники (1895). Диссертацию “Микроорганизмы как геологические деятели” на соискание степени доктора ботаники (1903) он защитил в Императорском Варшавском университете. Одновременно он выполнял обязанности библиотекаря в Императорском Санкт-Петербургском саду. С момента основания в 1897 г. Женского медицинского института Георгий Адамович читал там лекции по ботанике и общей микробиологии, вёл научные занятия. Он первым в России начал читать лекции по бактериологии на Высших женских естественно-научных курсах М.А. Лохвицкой-Скалон. Неоднократно для выполнения научных работ Надсон посещал научные учреждения, музеи и ботанические сады Вены, Праги, Лейпцига, Берлина, Парижа, Гамбурга. Список его трудов к 1914 г. достиг 60 публикаций на русском и немецком языках [2, с. 375–377]. Предметом его исследований на этом этапе являлись пигменты низших организмов, проблема антагонизма и симбиоза и изучение микроорганизмов как геологических деятелей. С 1908 г.

Георгий Адамович занимал должность редактора “Известий Императорского Санкт-Петербургского ботанического сада”, а с 1914 г. издавал и редактировал “Журнал микробиологии”, редактором которого оставался до 1938 г. Он состоял членом Императорского Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей и Санкт-Петербургского микробиологического общества, в котором неоднократно избирался председателем.

Начало XX столетия знаменуется открытием радиоактивности и стремительно увеличивавшимся количеством исследований, в процессе которых учёные облучали различные биологические объекты, а затем подробно описывали происходившие изменения. Многие работы имели медицинскую направленность. Ставилась цель выяснить, какие патологические или лечебные изменения в организме животного вызывает облучение. Всё, что было известно о радиации к 1910 г. в рамках биологии и практической медицины, обобщено в книге Е.С. Лондона [3]. Список литературы, проанализированной в книге, включает 332 источника на немецком, французском, английском и русском языках. В марте 1918 г. по инициативе профессора М.И. Немёнова и при участии академика А.Ф. Иоффе нарком просвещения А.В. Луначарский подписал проект о создании в Петербурге первого в мире Государственного рентгенологического и радиологического института. Изначально институт состоял из трёх отделений: физико-технического (руководитель — А.Ф. Иоффе), радиевого (Л.С. Коловрат-Червинский) и медико-биологического (М.И. Немёнов). Институт был первым из созданных советским правительством, несмотря на тяжёлые условия в стране. В медико-биологическом отделении изучалось воздействие радиоактивного излучения на биологические объекты. Г.А. Надсон заведовал здесь ботанико-микробиологической лабораторией. Георгий Адамович проработал в лаборатории с 1918 по 1937 г. и нашёл научное направление, которому оставался верен всю свою жизнь.

Надсон всегда считал, что от выбора объекта для изучения влияния радиоактивных лучей зависят успешность работы и чёткость результатов. Поэтому наибольший интерес, по его мнению, представляют растительные организмы, как низшие, так и высшие, жизнь которых более просто устроена и потому легче поддаётся исследованию. В своей первой работе по новой тематике, опубликованной в 1920 г., Надсон сформулировал следующие новаторские выводы. Он установил, что, во-первых, отдельные виды дрожжевых организмов проявляют видовую, а иногда и индивидуальную чувствительность при облучении. Во-вторых, в зависимости от количества и качества радиевой энергии происходит или активизация жизненных процессов, или

их угнетение, вплоть до гибели клетки. В-третьих, иногда в клетках, непосредственно подвергшихся облучению, не обнаруживаются никакие заметные изменения, которые выявляются лишь у их потомков. В-четвёртых, клеточное ядро — это главный органоид клетки, воспринимающий лучи радия и являющийся первоисточником изменений в облучённой клетке [4]. В работе 1920 г. содержится и другое важное положение о способности клеток к восстановлению после лучевых поражений и возможности отдалённых летальных последствий вследствие повреждения генетического аппарата клеток, значение которого в радиобиологии и радиационной генетике было открыто значительно позднее.

Дальнейшая работа Г.А. Надсона и его сотрудников продолжала развивать идеи, высказанные в статье 1920 г. В мае 1925 г. на III Всесоюзном съезде рентгенологов и радиологов в Ленинграде он доложил о результатах исследований, проведённых совместно с Г.С. Филипповым [5]. Он продемонстрировал возможность получения наследственно стойких изменённых форм — мутантов — при действии точно дозируемого физического фактора. В заключении Надсон сказал: “Мы полагаем, что коренная, основная причина этих мутаций лежит во внутренних свойствах организма, а внешние факторы, в данном случае рентгеновы лучи, дают лишь толчок к их применению” [5, с. 310]. Доклад был опубликован и на французском языке [6, 7]. Так было положено начало исследованиям по получению новых мутантных штаммов микроорганизмов с наследственно закреплёнными свойствами под действием различных факторов на наследственный аппарат клетки. Г.А. Надсон был убеждён, что открытое им явление относится к категории мутаций. Однако под давлением генетиков, настаивавших на том, что без строго проведённого генетического анализа демонстрируемое явление нельзя отнести к мутациям, учёный чаще использовал термин “сальтация”, хотя последующее развитие генетики микроорганизмов и микробиологии подтвердило, что он имел дело с настоящими рентгеномутациями. После этой работы Надсон сосредоточился на изучении мутаций микроорганизмов, вызванных физическими или химическими агентами. Он опубликовал 58 работ (в том числе во французских и немецких изданиях) по изучению действия излучений на микроорганизмы и экспериментальному мутагенезу.

Сформулированные в 1925 г. выводы были новаторскими, Г.А. Надсон обосновал их за два года до генетического анализа мутагенного действия рентгеновских лучей, осуществлённого Г. Мёллером на плодовой мушке (1927) [8] и Л. Стадлером на ячмене. Но всё-таки первооткрывателем мутагенного

действия радиации был Г.А. Надсон¹. К сожалению, он не предложил, в отличие от Г. Мёллера, количественного метода учёта мутаций.

Лишь спустя 50 лет, когда молекулярная генетика, молекулярная радиобиология и биофизика стали самостоятельными науками, а методы исследования были усовершенствованы, учёные вспомнили труды 1925 г. и признали, что “этот результат можно считать первым, хотя экспериментально достаточно недоказанным свидетельством мутагенного действия ионизирующей радиации. Обширные опыты с объективным и точным учётом вызываемых излучением мутаций на специально созданных для этих целей культурах дрозофилы провёл G. Müller (1927, 1928). Результаты этих опытов были воспроизведены во многих лабораториях; к этим годам и относят начало радиационной генетики” [9, с. 232].

Блестящий лектор и докладчик, Г.А. Надсон выступал на съездах рентгенологов и радиологов в Ленинграде, на сессиях Академии наук СССР (1931 и 1935 гг.), на Международном рентгенологическом конгрессе в Цюрихе (1934), в Париже во время франко-советской недели (1935). В 1933 г. на Всесоюзной конференции по изучению стратосферы Надсон представил доклад “Микробиология и стратосфера”. Он предложил изучать космические лучи и радиацию вообще в условиях стратосферы с обязательным участием микробиологов, так как ультрафиолетовые, рентгеновские лучи и лучи радия могут оказывать существенное влияние не только на облучаемый ими организм, но и на его потомство [10, с. 483]. Надсон понимал практическое значение получения радиомутантов, способных приобрести новые, более ценные свойства. Доклад учёного на Чрезвычайной сессии Академии наук СССР в июне 1931 г. “Проблема изменчивости микробов, её теоретическое и практическое значение” был опубликован, однако ни широкие круги микробиологов, ни микробиологическая промышленность не были готовы воспринять эти новые возможности. Наряду с изменчивостью микроорганизмов Надсона интересовали спонтанная, эндогенная изменчивость низших растительных существ, проблема усиления химическими реагентами биологического воздействия излучений на растения. Г.А. Надсон и Э.Я. Рохлина ещё в 1924 г. выступили с сообщением о радиочувствительности клеточных органоидов (митохондрий), их ранимости, а также способности к репарации.

¹ Более чем за 10 лет до открытия радиационного мутагенеза Г.А. Надсоном Н.К. Кольцов в 1916 г. на заседании Общества Московского научного института высказал мысль, что рентгеновские лучи должны вызывать мутации, но свои исследования он направил в сторону химического мутагенеза.

Полная библиография работ Надсона по действию излучений представлена во 2-м томе его “Избранных трудов” [11].

Москва. Институт микробиологии. Судьба Г.А. Надсона в Ленинграде складывалась весьма успешно. Его научные заслуги не остались незамеченными: в 1928 г. он был избран членом-корреспондентом, а в 1929 г. — действительным членом АН СССР. В 1932 г. Надсона назначили заместителем академика-секретаря Отделения математических и естественных наук АН СССР. В октябре 1934 г. микробиологическая лаборатория, созданная при Институте экспериментальной медицины в Ленинграде, переехала в Москву и в этом же году была преобразована в Институт микробиологии АН СССР. Директором стал Г.А. Надсон. Его ученики последовали за ним в Москву. Среди них — Н.А. Красильников (действительный член АН СССР с 1946 г.), А.А. Имшенецкий (с 1947 г.), М.Н. Мейсель (член-корреспондент АН СССР с 1960 г.), Г.К. Бургвиц.

Период директорства Г.А. Надсона в Институте микробиологии АН СССР оказался очень кратким — всего три года, но за это время он сумел создать коллектив, который на долгие годы определил лицо советской микробиологии. Кроме его учеников по ленинградскому периоду жизни здесь работали биохимик А.Р. Кизель со своим учеником А.Н. Белозёрским, гидробиолог Е.Е. Успенский, вирусолог Л.А. Зильбер, микробиолог Н.Д. Иерусалимский, представлявшие московскую школу. Г.А. Заварзин даёт следующую меткую характеристику нового института: «Аспиранты Надсона были предоставлены самим себе и конкуренции друг с другом. От учителя их отделял и возраст, и авторитет. Промежуточных шефов не было — приглашённые крупные специалисты во вновь созданном Институте микробиологии были заняты своими учениками. Надсон нарезал микробиологию на сектора и отдал их аспирантам — стране были нужны разносторонние специалисты, и Институт микробиологии должен был быть универсальным в области немедицинской микробиологии. Здесь опять-таки важно “не”. Врачу-венерологу Имшенецкому досталось разложение растительного сырья. Всё оборудование было в пределах “Практического руководства по микробиологии” В.Л. Омелянского и, следовательно, устоявшейся традиции. Сам Надсон был увлечён новыми идеями в формировавшейся тогда генетике» [12, с. 527].

Помимо руководства институтом, Надсон возглавлял в нём отдел изменчивости, наследственности и эволюции микроорганизмов. Однако представителя дореволюционной научной профессуры, человека, далёкого от политики и живущего только наукой, не миновал печальный удел жертвы

сталинских репрессий. С 1936 г. начались нападки на академические институты. Генетику обвинили в поддержке фашизма, в отстранённости от классовой борьбы. Ответственность за все недостатки возложили на директора — Н.И. Вавилова, который был хорошим знакомым Георгия Адамовича по Ленинграду [13, с. 773–780]. Г. Мёллер, сотрудник Института генетики, напуганный размахом репрессий и уступивший настояниям опасавшегося за его жизнь Вавилова, в 1937 г. уехал из СССР. Б.А. Келлер и В.Л. Комаров, учёные, оставившие яркий след в ботанике, вынуждены были придерживаться диктуемой сверху позиции. Нападки на Институт микробиологии происходили по одинаковой для всех институтов схеме.

Арест. Отречение. В феврале 1937 г. в газете “Правда” появилась статья Г.А. Надсона, которая явилась ответом на статью английского корреспондента “Манчестер гарден”, осуждавшего приговор, вынесенный К.Б. Радеку. Советские люди не читали данной газеты, и статья Надсона была, бесспорно, “заказанной сверху”. Между строк читается смущение автора от возложенной на него миссии. Тем не менее он выступил с осуждением статьи, а заодно и с поддержкой справедливости приговора [14]. Он помнил, что на нём лежит ответственность за судьбу Института микробиологии и его сотрудников, за жизнь членов собственной семьи. Но это ничего не изменило. 27 февраля Надсон вошёл в состав Президиума Общего собрания АН СССР, посвящённого первой годовщине со дня смерти академика И.П. Павлова [15]. Как следует из протоколов заседаний коллектива Института микробиологии, в феврале 1937 г. Надсон ещё занимал пост директора и председателя собрания. Он выступал с отчётом о работе института, брал социальное обязательство по своему отделу изменчивости, наследственности и эволюции микроорганизмов составить сводку по изменчивости к 20-й годовщине Октября [16].

С марта 1937 г. академическое сообщество накрывает волна самокритики. Г.А. Надсон пишет В.И. Вернадскому 27 марта: «Кржижановский сказал вступительное слово к “самокритике”. Сегодня продолжение заседания; записалось 50 ораторов (присутствует, думаю, не менее 1000 чл.), желающих “крыть” Академию... Посмотрим!» [17, л. 4]. Из материалов общих собраний видно, что в выступлениях академиков преобладают критика и самобичевание. Пожалуй, только академик Н.Н. Семёнов в мае 1937 г. обратил внимание, что в институтах Академии наук сделано много хороших и нужных работ и что об этом следует говорить в первую очередь [18]. Критика и призыв к выявлению “врагов народа” распространились по академическим институтам и лабораториям. 27 апреля на совещании отдела Г.А. Надсон отсутствовал [16, л. 4]. В проект

предложений общего собрания сотрудников Института микробиологии включили пункт о необходимости проводить борьбу с неправильными теориями в области микробиологии, в частности, по вопросам изменчивости и эволюции микроорганизмов путём разбора этих вопросов на конференциях и освещения их в печати. Академику Надсону рекомендовали уделять больше времени руководству научными исследованиями [16, л. 6–8]. Несмотря на то, что весной и летом 1937 г. Георгий Адамович ещё являлся директором института, он считался больным и не появлялся на мероприятиях.

29 октября 1937 г. Г.А. Надсон был арестован по обвинению в контрреволюционной деятельности и участии в террористической организации. Одновременно арестовали и заместителя директора Института микробиологии, коллегу Надсона ещё по ленинградскому периоду Г.К. Бургвица. На общем собрании института 4 ноября 1937 г. сотрудники говорили, что прозевали трёх врагов — Г.К. Бургвица, Л.А. Зильбера² и Г.А. Надсона, но органы НКВД открыли всем глаза [16, л. 12–15]. Несмотря на обличающую цель выступлений, бесспорно, заказных, из текста было отчётливо видно, какой большой любовью и авторитетом пользовался Георгий Адамович у своих учеников. Бургвица и Зильбера сдали сразу, с Надсоном это далось с трудом. Приведём некоторые высказывания его коллег. Н.А. Красильников: “Надсон пользовался огромным авторитетом, мы проявляли к нему сыновнюю любовь... Мы любили, уважали и слишком доверяли Надсону...” [там же, л. 14]. В.И. Кудрявцев: “Возражали ли мы в чём-нибудь Надсону? Возражения были, но очень либеральные. Коллектив учеников поддерживал Надсона, но никогда не расходился с общественностью. Резкий шаг по отношению к Надсону грозил его уходом из Института, и этого все боялись” [там же, л. 15]. Д.М. Новогрудский: “Я уважал Надсона за то, что он учёный с большой буквы, а главное, что он, как я считал, усиливает авторитет советской науки за границей. Я не только сам уважал, но и учил многих товарищей, приходивших в институт, с таким же уважением относиться к Надсону... Я уверен, что он не знал, что делали сотрудники отдела вирусов. Коммунистов в штат было очень трудно провести” [там же, л. 16]. Незадолго до ареста Надсон настоял на вынесении Президиумом АН СССР благодарности Бургвицу и на выдвижении Зильбера в члены-корреспонденты АН СССР, что было поставлено ему в вину.

² Лев Александрович Зильбер (1894–1966) — крупнейший советский иммунолог и вирусолог. При содействии Г.А. Надсона основал в Институте микробиологии АН СССР отдел вирусологии. В ноябре 1937 г. был арестован (вторично) по ложному доносу, в 1939 г. освобождён [19].

Очень резко выступил А.А. Имшенецкий, сказав, что в данном случае нельзя отделить учёного от шпиона. Он отметил, что Надсон всегда отвергал темы практического, оборонного значения, был против тем, связанных с вопросами здравоохранения, выступал против заключения договора на проверку опытов в заводском масштабе. По мнению Г.А. Заварзина, страх, испытанный в годы репрессий, не покидал Имшенецкого и впоследствии стал формирующим фактором для его эмоциональной натуры [12].

Разгром был бы неполным, если бы не уничтожили любимое детище Г.А. Надсона — отдел изменчивости, наследственности и эволюции микроорганизмов. 22 ноября 1937 г. на общем собрании Института микробиологии выступил заместитель директора М.Н. Мейсель с отчётом и проектом плана научно-исследовательских работ на 1938 г. Он отметил, что отдел изменчивости по количеству сотрудников и проблематике является одним из главных отделов института. Надобность в нём не вызывает сомнения, так как проблема изменчивости — это основная из теоретических и практических проблем биологии, именно она связывает с вопросами генетики и практики сельское хозяйство и медицинскую микробиологию. Практическое значение имеют вопросы изменчивости патогенных бактерий, бродильных микроорганизмов. Институту, по мнению Мейселя, следовало бы заниматься не изучением изменчивости вообще, а научиться управлять этой изменчивостью [16, л. 28]. Через три дня он изменил свою точку зрения.

Для обследования института Президиумом АН СССР была создана комиссия в составе В.Л. Комарова (председатель), А.Н. Баха, А.А. Рихтера, Х.С. Коштоянца и В.П. Лебедева. 25 ноября 1937 г. на заседании Президиума АН СССР были оглашены результаты проверки. Было отмечено, что, “несмотря на наличие возможностей, институт не стал руководящим научно-исследовательским учреждением ни по одному из основных разделов советской микробиологии. Деятельность ныне разоблачённых врагов народа — бывших руководителей института — была направлена на подрыв работы института, на его изоляцию от запросов соцстроительства” [20, л. 151]. В утверждённой обновлённой структуре института отсутствовал отдел изменчивости, данная тема была снята. Временно исполняющим обязанности директора назначили члена-корреспондента АН СССР Б.Л. Исаченко [там же, л. 157, 158]. Почти 70-летний человек, уже заканчивавший творческую карьеру исследователя, в последние семь лет жизни сумел сохранить институт и сформировать то научное направление, которым могла гордиться страна.

М.Н. Мейсель согласился с оценкой комиссии, но, высказав положенную критику в адрес отдела изменчивости (отсутствие критического отношения к идеологическим антидарвинистским тенденциям и отсутствие практического применения), отметил и бесспорные успехи в селекции дрожжей, работы по морфологической систематике и изменчивости целлюлозных бактерий. Имя Надсона даже не упоминалось. Это всего лишь прежнее руководство. В предложенной Мейселем структуре института отдел изменчивости не фигурировал [21].

Судьба Георгия Адамовича оставалась неизвестной даже его близким. Жена Надсона, Мария Яковлевна, часто приходила к В.И. Вернадскому, который её очень жалел. Из её рассказов, записанных Вернадским, выяснилось, что в феврале 1938 г. в квартиру к ней неожиданно пришёл следователь, принёс на подпись доверенность на получение жалованья и денег в сберегательной кассе, взял письма для передачи Георгию Адамовичу. Он успокоил женщину, что её супруг на особом положении в НКВД, получает хорошую еду, здоров, но дело ещё не закрыто. Печать с лаборатории сняли. Следователь забрал доверенности для оформления и не вернулся. Семья крайне нуждалась [22, с. 220, 225]. Люди, которые были обязаны Георгию Адамовичу, старательно избегали Марию Яковлевну, “не узнавали” на улице, выступали с осуждением [там же, с. 321].

На Общем собрании АН СССР 29 апреля 1938 г., как обычно, был заслушан научный доклад и были утверждены директора ряда институтов. В заключительном слове президент АН СССР академик В.Л. Комаров отметил, что в Академии наук не всё благополучно. Оказалось, что за последнее время ряд действительных членов и членов-корреспондентов АН СССР состояли в тех или иных отношениях с врагами народа, вследствие чего пришлось поднять вопрос о лишении их званий. Президиум АН СССР счёл, что пребывание в рядах действительных членов и членов-корреспондентов АН СССР лиц, направивших свою деятельность во вред Советскому Союзу, невозможно, так как позорит звание советского учёного³. Были перечислены фамилии 16 членов-корреспондентов АН СССР и 5 академиков, среди которых был Г.А. Надсон [23]. Высказаться по данному вопросу никто из присутствующих не пожелал, и Общее собрание присоединилось к мнению Президиума, утвердив исключение названных лиц. Вернадский уехал до

обсуждения вопроса об исключении Надсона из академиков, якобы из-за болезни жены [22, с. 308].

Через год, 14 апреля 1939 г., Георгий Адамович Надсон был обвинён в участии в террористической организации и 15 апреля расстрелян и похоронен на “Коммунарке”⁴.

Реабилитация. Небольшой коллектив Института микробиологии АН СССР породил ряд блестящих имён. Из учеников Г.А. Надсона членами академии стали Н.А. Красильников (избран в 1946 г.), А.А. Имшенецкий (1947), М.Н. Мейсель (1960). Пост директора института микробиологии Б.Л. Исаченко оставил А.А. Имшенецкому.

В мае 1955 г. А.А. Имшенецкий обратился к главному учёному секретарю Президиума АН СССР академику А.В. Топчиеву с просьбой выяснить судьбу Г.А. Надсона: “Институт микробиологии АН СССР обращается к Вам как к депутату Верховного Совета Союза ССР с убедительной просьбой выяснить судьбу бывшего директора Института микробиологии АН СССР академика Георгия Адамовича Надсона, репрессированного в 1937 году. Акад. Г.А. Надсон являлся директором Института микробиологии с момента организации института с 1934 года по 1937 год. Акад. Надсон Г.А. является крупным учёным-микробиологом, перу его принадлежит большое число работ по различным вопросам микробиологии — геологической деятельности микроорганизмов и другие. Работы эти не являются изъятными из обращения и цитируются в современной литературе. В связи с исполняющимся в этом году 25-летием со дня организации института (Имшенецкий имел в виду Микробиологическую лабораторию АН СССР, организованную в Ленинграде в 1930 г. и преобразованную в Институт микробиологии АН СССР. — Т.К.) и проведении юбилейной сессии, на которой будет освящена организационная и научная деятельность института за 25 лет, а следовательно, должно быть упомянуто и об акад. Г.А. Надсоне, учитывая, что организация и формирование института происходили в то время, когда директором был акад. Г.А. Надсон, крайне необходимо выяснить, пересматривалось ли дело академика Надсона Г.А. и каковы результаты этого пересмотра” [24, л. 1, 2].

А.В. Топчиев в свою очередь обратился с этой же просьбой в прокуратуру [24, л. 3]. На Общем собрании АН СССР 1 февраля 1956 г. был поставлен

³ Формальным основанием для постановки вопроса об исключении академика из Академии наук был пункт Устава АН СССР, принятого в 1927 г.: “Академик лишается своего звания, если он не выполняет заданий, возлагаемых на него этим званием, или если его деятельность направлена явным образом во вред СССР”.

⁴ Г.А. Надсон был включён в список “активных участников контрреволюционных правотроцкистской, заговорщицкой и шпионской организаций” (931 человек), представленный Л. Берией и А. Вышинским 8 апреля 1939 г. для санкции расстрела 198 человек и осуждения 733 человек к заключению в лагеря на срок не менее 15 лет. Санкция оформлена как решение Политбюро ВКП(б) за подписью Сталина (<http://www.memo.ru>).

вопрос “О восстановлении Г.А. Надсона в правах академика. Опросом”. Приведём выдержку из постановления: “Ввиду того, что решением Военной коллегии Верховного суда СССР от 29 октября 1955 года дело в отношении Г.А. Надсона прекращено за отсутствием состава преступления и последний полностью реабилитирован, Общее собрание Академии наук СССР постановляет:

1. Восстановить посмертно в правах академика Георгия Адамовича Надсона.

2. Отменить постановление Общего собрания АН СССР от 29 апреля 1938 г., протокол № 4, § 5, в части, касающейся Г.А. Надсона” [25, л. 1, 2].

Постановление подписано президентом АН СССР академиком А.Н. Несмеяновым и главным учёным секретарём Президиума АН СССР академиком А.В. Топчиевым. В тайном голосовании приняли участие 75 академиков. Среди лиц, которым разослано постановление Общего собрания, была и семья Г.А. Надсона.

На годичном собрании АН СССР 2 февраля 1956 г. зачитали решение Президиума. Наступила политическая оттепель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев В.И. Роль и значение Г.А. Надсона в развитии русской и советской микробиологии. Избранные труды в 2-х томах Т. 1. М.: Наука, 1967. С. 5–14.
2. Императорский Санкт-Петербургский ботанический сад за 200 лет его существования (1713–1913). Ч. 3 / Сост. В.И. Липский. Петроград, 1913–1915. С. 371–377.
3. London E.S. Das Radium in der Biologie und Medizin. Leipzig: Akad. Verlag, 1911.
4. Надсон Г.А. О действии радия на дрожжевые грибки в связи с общей проблемой влияния радия на живое вещество // Вестник рентгенологии и радиологии. 1920. № 1–2. С. 45–137.
5. Надсон Г.А., Филиппов Г.С. О влиянии рентгеновых лучей на половой процесс и образование мутантов у низших грибов (Mucoraceae) // Вестник рентгенологии и радиологии. 1925. № 6. С. 305–310.
6. Nadson G. Influence des rayons X sur la sexualite et la formation des mutantes chez les Champignons inferieurs (Mucorinees) // Compt. Rend. Soc. Biol. 1925. V. 98. P. 473–475.
7. Nadson G. De certaines régularités des changements de la “matière vivante” sous l’influence des facteurs externes. Principlement des rayons X et du radium // Biologie des rayonnements, facteurs chimiques et physiques. Paris: Hermann, 1937.
8. Müller H.J. Artificial transmutation of the gene // Science. 1927. V. 66. № 1609. P. 84–87.
9. Тимофеев-Ресовский Н.В., Савич А.В., Шальнов М.И. Введение в молекулярную радиобиологию (Физико-химические основы). М.: Медицина, 1981.
10. Надсон Г.А. Избранные труды. Т. 1. М.: Наука, 1967.
11. Надсон Г.А. Избранные труды. Т. 2. М.: Наука, 1967.
12. Zavarzin G.A. Excerpt from the History of general Microbiology in Russia // Herald of the Russian Academy of Sciences. 1996. № 3. P. 222–229; Заварзин Г.А. Из истории общей микробиологии в России // Вестник РАН. 1996. № 6. С. 521–529.
13. Курсанова Т.А. От искусства к науке: А.А. Сапегин и становление советской селекции // Вопросы истории естествознания и техники. 2015. № 4. С. 758–782.
14. Надсон Г.А. Странная позиция Манчестер Гарден // Правда. 1937. 31 января. С. 3.
15. Архив РАН. Ф. 2. Оп. 4а. № 15. Л. 100.
16. Архив РАН. Ф. 199. Оп. 1. № 46. 46 л.
17. Архив РАН. Ф. 518. Оп. 3. № 1124. Л. 4.
18. Архив РАН. Ф. 2. Оп. 4а. № 16.
19. Kiselev L.L., Abelev G.I., Kiselev F.L. Lev Zil’ber: The Father of the Russian School of Virologists // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2003. № 4. P. 425–436; Киселёв Л.Л., Абелев Г.И., Киселёв Ф.Л. Лев Зильбер – создатель отечественной школы медицинских вирусологов // Вестник РАН. 2003. № 7. С. 647–659.
20. Архив РАН. Ф. 2. Оп. 6. № 8. Л. 151–160.
21. Архив РАН. Ф. 2. Оп. 3. № 11. С. 47–84.
22. Вернадский В.И. Дневники. 1935–1938 / Отв. ред. В.П. Волков. М.: Наука, 2006.
23. Архив РАН. Ф. 2. Оп. 4. № 7. Л. 96–97.
24. Архив РАН. Ф. 694. Оп. 1. № 94.
25. Архив РАН. Ф. 2. Оп. 7а. № 45.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ
ОТДЕЛ

ПРЕЗИДИУМ РАН РЕШИЛ
(февраль—март 2017 г.)

DOI: 10.7868/S0869587317070106

• В связи с освобождением академика РАН **В.Е. Фортова** от должности президента РАН 23 марта 2017 г. по его просьбе за многолетний добросовестный труд, высокие профессиональные качества, плодотворную научную и научно-организационную работу объявить Владимиру Евгеньевичу Фортову благодарность. Согласиться с назначением его на должность советника РАН.

• Согласиться с переводом вице-президента РАН академика РАН **В.В. Костюка** на должность советника РАН с 28 марта 2017 г. За многолетний добросовестный труд, высокие профессиональные качества, плодотворную научную и научно-организационную работу объявить Валерию Викторовичу Костюку благодарность.

• На период исполнения обязанностей президента РАН академик РАН **В.В. Козлов** осуществляет: руководство деятельностью Комиссии по Уставу ФГБУ “Российская академия наук”; курирование работы Отделения математических наук РАН; формирование предложений по разработке и реализации государственной научно-технической политики, о приоритетных направлениях развития фундаментальных наук, о направлениях поисковых научных исследований в области математических наук.

• Утвердить следующий состав Комиссии по подготовке проекта Положения о порядке выборов президента РАН: академик РАН **В.В. Козлов** — и.о. президента РАН, председатель; академик РАН **Н.К. Долгушкин**; академик РАН **А.Г. Лисицын-Светланов**; член-корреспондент РАН **А.А. Москоско**; академик РАН **В.А. Рубаков**; академик РАН **И.А. Соколов**.

• Члены РАН, проработавшие в Российской академии наук не менее 10 лет на должностях президента РАН, вице-президента РАН, главного учёного секретаря Президиума РАН, члена Президиума РАН, академика-секретаря отделения РАН и занимающие штатную должность по основному месту работы в РАН, по достижении 70-летнего возраста могут быть по их желанию назначены на должность советника РАН. Решение о назначении советника РАН и размере его заработной платы принимается

президентом РАН по согласованию с Президиумом РАН. Считать утратившими силу постановления Президиума РАН от 28 октября 2003 г. “Об утверждении Положения о советниках Российской академии наук” и от 11 декабря 2007 г. “О порядке замещения руководящих должностей в Российской академии наук”.

• В соответствии с ч. 2 п. 71 Устава РАН определить для общих собраний отделений РАН и региональных отделений РАН квоты по кандидатам (из числа членов РАН) в члены Президиума РАН:

Отделение математических наук РАН, Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН, Отделение биологических наук РАН, Отделение общественных наук РАН, Отделение историко-филологических наук РАН, Отделение глобальных проблем и международных отношений РАН, Отделение физиологических наук РАН — по 1 кандидату;

Отделение физических наук РАН, Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, Отделение химии и наук о материалах РАН, Отделение наук о Земле РАН — по 2 кандидата;

Отделение сельскохозяйственных наук РАН — 3 кандидата;

Отделение медицинских наук РАН — 4 кандидата;

Дальневосточное и Уральское отделения РАН — по 1 кандидату;

Сибирское отделение РАН — 2 кандидата.

• Организовать при Президиуме РАН Научный совет РАН по комплексным проблемам этничности и межнациональных отношений. Утвердить Положение о совете и его состав.

Положение о совете

Общие положения

Научный совет РАН по комплексным проблемам этничности и межрегиональных отношений создан во исполнение поручения Президента РФ

по итогам заседания Совета при Президенте РФ по межнациональным отношениям 31 октября 2016 г. в г. Астрахани с целью обеспечения обсуждения важнейших проблем в сфере межнациональных (межэтнических) отношений и реализации Стратегии государственной национальной политики, а также с целью содействия академии в решении задач, возложенных на неё Федеральным законом от 27 сентября 2013 г. № 253-ФЗ “О Российской академии наук, реорганизации государственных академий наук и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации” и Уставом академии, утверждённым постановлением Правительства РФ от 27 июня 2014 г. № 589.

Совет является научно-консультативным, координационным и экспертным органом РАН, работающим на общественных началах, и состоит при Президиуме РАН.

Совет осуществляет свою деятельность во взаимодействии с отделениями РАН по областям и направлениям науки, региональными отделениями РАН, структурными подразделениями аппарата Президиума РАН, а также в информационном сотрудничестве с органами государственной власти, научными организациями и образовательными организациями высшего образования Российской Федерации независимо от их ведомственной принадлежности, общественными организациями, средствами массовой информации, иными заинтересованными организациями.

Совет в своей деятельности руководствуется Конституцией РФ, законодательством РФ, Уставом РАН, постановлениями Общего собрания членов РАН, постановлениями Президиума РАН, распоряжениями Президиума РАН за подписью президента РАН и настоящим Положением.

Реорганизация или ликвидация совета, изменения и дополнения в Положение о совете осуществляются постановлениями Президиума РАН.

Совет имеет бланк со своим наименованием.

Основные задачи и функции совета

Деятельность совета направлена на решение следующих основных задач:

разработка путей реализации Стратегии государственной национальной политики, укрепления общероссийского гражданского самосознания и гармонизации межнациональных (межэтнических) отношений;

координация теоретического осмысления явлений, происходящих в этнонациональной сфере в условиях глобализации и актуальных вызовов;

анализ проявлений этничности в современном экономическом, социальном, этнокультурном и политическом пространстве;

выработка эффективных рекомендаций для органов власти, обеспечивающих баланс государственных, общественных интересов и интересов людей разной национальности, укрепления единства и целостности России;

разработка путей укрепления общероссийской гражданской идентичности и гармонизации межнациональных (межэтнических) отношений;

разработка стратегии и механизмов обеспечения правового равенства и уважения достоинства граждан независимо от этнической и расовой принадлежности, взаимного уважения этнокультурных обычаев и традиций;

координация теоретического осмысления явлений и выработка рекомендаций по проблемам самоопределения, совершенствования федерализма, в том числе связанных с воссоединением Крыма;

поиск наиболее рациональных путей адаптации прибывающих иноэтничных мигрантов, интеграции их в местные сообщества.

Для реализации своих основных задач совет выполняет следующие функции:

проводит анализ состояния российских и зарубежных научных исследований, готовит предложения и рекомендации по решению актуальных проблем в области этнологии, этносоциологии, этнополитологии, этнопсихологии и других дисциплин, связанных с изучением межнациональных (межэтнических) отношений;

участвует в разработке предложений по определению приоритетных направлений развития российских фундаментальных и поисковых научных исследований, государственных целевых программ в области этнокультурных, социальных, психологических, политических, государствоведческих аспектов межнациональных (межэтнических) отношений;

готовит и представляет в профильные министерства и ведомства рекомендации по сохранению межнационального согласия, адаптации и интеграции мигрантов, укреплению единства и целостности России;

способствует организации и координации комплексных научных исследований на междисциплинарном и межведомственном уровнях в области реализации Стратегии государственной национальной политики;

участвует в разработке предложений для органов государственной власти по использованию результатов научно-исследовательских работ в области

этнологии, этнических проблем в социологии, политологии, государствоведении, психологии;

участвует в работе с молодыми учёными, в разработке предложений по совершенствованию подготовки научных кадров в сфере реализации Стратегии государственной национальной политики;

участвует в подготовке к изданию информационно-аналитических материалов по проблемам межнациональных (межэтнических) отношений и адаптации мигрантов;

взаимодействует со средствами массовой информации с целью освещения практических результатов исследований в области этнических проблем и межнациональных (межэтнических) отношений в разных областях государственной и общественной жизни;

содействует укреплению связей РАН с научными организациями и образовательными организациями высшего образования Российской Федерации независимо от их ведомственной принадлежности, общественными организациями, средствами массовой информации, иными заинтересованными организациями, органами государственной власти по реализации задач Стратегии государственной национальной политики;

оказывает содействие в развитии и укреплении международных научных связей с зарубежными научными организациями, работающими в области этничности и межнациональных (межэтнических) отношений;

участвует в организации российских и международных научных мероприятий по проблемам реализации Стратегии государственной национальной политики;

участвует в научных и научно-организационных мероприятиях, проводимых РАН по реализации Стратегии государственной национальной политики;

участвует в осуществлении экспертного научно-го обеспечения деятельности государственных органов власти в области реализации Стратегии государственной национальной политики;

готовит и представляет в профильные министерства и ведомства аналитические записки о важнейших научных достижениях, полученных российскими учёными в области этнологии, этнических аспектов в социологии, политологии, психологии, государствоведении.

Состав и структура совета

Совет формируется в составе председателя, заместителя председателя, учёного секретаря и членов совета.

Состав совета обновляется по мере необходимости.

Членами совета могут быть члены РАН, сотрудники аппарата Президиума РАН, а также по согласованию ведущие учёные и представители научных организаций и образовательных организаций высшего образования, научных центров, научных и научно-технических обществ, институтов развития, органов государственной власти и других организаций, участвующих в научных исследованиях по направлениям деятельности совета. К деятельности совета по согласованию могут привлекаться зарубежные учёные.

В совете может быть образовано бюро в составе председателя, его заместителей, учёного секретаря и членов бюро.

В структуре совета для решения возложенных на него задач могут быть организованы секции по отдельным направлениям деятельности, постоянные или временные рабочие группы, комиссии (подкомиссии).

Председатель (сопредседатели) совета назначается Президиумом РАН. В его отсутствие руководство советом осуществляет один из его заместителей.

Председатель (сопредседатели) совета утверждает план работы совета, повестки заседаний и состав лиц, приглашаемых на заседания совета; организует работу совета и председательствует на заседаниях; подписывает протоколы заседаний и другие документы совета; обеспечивает коллективное обсуждение вопросов, внесённых на рассмотрение совета; формирует отчёт о проведённой работе и наиболее важных результатах, полученных в рамках деятельности совета; распределяет обязанности между своими заместителями и членами совета.

Заместитель председателя совета курирует одно или несколько направлений деятельности совета; участвует в подготовке планов работы совета; участвует в подготовке отчёта о проделанной работе и наиболее значимых результатах, полученных в рамках деятельности совета.

Учёный секретарь совета организационно обеспечивает работу совета, готовит рабочие материалы к заседаниям, оформляет протоколы заседаний; готовит и согласовывает с председателем проекты документов и других материалов для обсуждения на заседаниях совета; уведомляет членов совета о дате, месте и повестке предстоящего заседания; рассылает членам совета документы и материалы; участвует в подготовке отчёта о проделанной работе и наиболее значимых результатах, полученных в рамках деятельности совета; обеспечивает хранение документации совета.

Члены совета руководствуются Положением о совете; регулярно посещают заседания совета, назначенные его председателем; своевременно выполняют поручения совета; обеспечивают связь совета с представляемыми ими организациями; вносят предложения и замечания к планам работы и по текущей деятельности совета в целях повышения его эффективности; запрашивают информацию о рассмотрении своих предложений; получают информацию о деятельности совета; вносят предложения по формированию повестки дня заседаний совета; по поручению председателя совета возглавляют секции, рабочие группы и комиссии (подкомиссии) совета; участвуют в подготовке материалов по рассматриваемым вопросам; выступают с докладами на заседаниях совета.

Порядок работы совета

Совет работает в соответствии с ежегодными планами, утверждаемыми его председателем.

Совет решает вопросы в пределах задач и полномочий, возложенных на него соответствующими положениями.

Совет для решения возложенных на него задач и осуществления функций вправе рассматривать и принимать решения по вопросам его профильной деятельности на своих заседаниях или заседаниях бюро; создавать секции, постоянные или временные рабочие группы, комиссии (подкомиссии) для решения задач, входящих в компетенцию совета; по согласованию с руководителями научных организаций и образовательных организаций высшего образования, а также научных центров, научных обществ, институтов развития и других организаций запрашивать материалы по вопросам, относящимся к деятельности совета; приглашать на свои заседания с правом совещательного голоса представителей заинтересованных организаций, членов РАН, ведущих российских учёных, сотрудников аппарата Президиума РАН, представителей органов государственной власти; готовить и при необходимости выносить на обсуждение Президиума РАН вопросы по профилю совета.

Заседания совета созываются по решению председателя или бюро совета по мере необходимости. Заседания могут проводиться с использованием технических средств аудио- и (или) видеоконференцсвязи.

В перерывах между заседаниями совета оперативную работу может осуществлять его бюро, которое правомочно принимать решения с последующим их утверждением на заседаниях совета. Заседания бюро совета проводятся по мере необходимости. Решения бюро совета принимаются простым большинством голосов присутствующих

на заседании членов бюро совета открытым голосованием и оформляются протоколом заседания за подписью председателя и учёного секретаря совета.

Совет правомочен принимать решения по рассматриваемым вопросам, если на заседании присутствует не менее половины его списочного состава.

Решения совета принимаются простым большинством голосов присутствующих на заседании и оформляются протоколом за подписью председателя и учёного секретаря совета.

Решения совета носят рекомендательный характер.

Члены совета могут квалифицированным большинством голосов принять решение о проведении тайного голосования по любому обсуждаемому ими вопросу.

Совет ежегодно представляет в Президиум РАН отчёты о проделанной работе и наиболее значимые результаты, полученные в рамках его деятельности.

Совет может иметь адрес в информационно-телекоммуникационной сети Интернет, ссылки на которые помещаются на портале РАН.

Состав совета

Академик РАН **В.А. Тишков** — сопредседатель; академик РАН **Т.Я. Хабриева** — сопредседатель; член-корреспондент РАН **А.В. Головинёв** — заместитель председателя; доктор исторических наук **Л.М. Дробизева** (Институт социологии РАН) — заместитель председателя; доктор философских наук **В.А. Авкентьев** (Институт социально-экономических и гуманитарных исследований Южного научного центра РАН); доктор юридических наук **А.С. Автономов** (Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ, по согласованию); кандидат исторических наук **А.К. Аликберов** (Институт востоковедения РАН); член-корреспондент РАН **В.М. Алпатов**; доктор исторических наук **В.В. Амелин** (Оренбургский государственный университет, по согласованию); доктор юридических наук **Л.В. Андриченко** (Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ, по согласованию); доктор исторических наук **О.Ю. Артёмова** (Российский государственный гуманитарный университет, по согласованию); доктор психологических наук **А.Г. Асмолов** (МГУ им. М.В. Ломоносова, по согласованию); доктор политических наук **М.А. Астафатулова** (Пятигорский государственный университет, по согласованию); доктор политических наук **В.А. Ачкасов** (Санкт-Петербургский государственный университет, по согласованию); академик РАН **Б.В. Базаров**; доктор исторических наук

Б.Х. Бгажноков (Кабардино-Балкарский научный центр РАН); доктор исторических наук **В.Я. Белокриницкий** (Институт востоковедения РАН); доктор исторических наук **И.И. Бойко** (Чувашский государственный институт гуманитарных наук Министерства образования и молодежной политики Чувашской Республики, по согласованию); кандидат философских наук **А.Д. Бравин** (ГБУ Национальное агентство Информационный центр при Президенте Республики Саха (Якутия), по согласованию); доктор политических наук **И.М. Бусыгина** (Московский государственный институт (университет) международных отношений Министерства иностранных дел РФ, по согласованию); кандидат социологических наук **Р.М. Валиахметов** (Институт социологии РАН, Башкирский филиал); доктор юридических наук **Т.А. Васильева** (Институт государства и права РАН); доктор философских наук **Ю.Г. Волков** (Институт социологии РАН, Южнороссийский филиал); кандидат исторических наук **В.С. Воронцов** (Удмуртский институт истории, языка и литературы УрО РАН); академик РАН **М.К. Горшков**; доктор исторических наук **М.Н. Губогло** (Институт этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН); член-корреспондент РАН **А.В. Дмитриев**; доктор политических наук **А.С. Железняков** (Институт социологии РАН); доктор исторических наук **А.Е. Загребин** (депутат Государственной думы РФ ФС РФ, по согласованию); доктор исторических наук **В.Ю. Зорин** (Институт этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН); доктор юридических наук **А.И. Ковлер** (Институт законодательства и сравнительного правоведения при Правительстве РФ, по согласованию); доктор исторических наук **Т.Ю. Красовицкая** (Институт российской истории РАН); кандидат исторических наук **В.Е. Козлов** (Казанский (Приволжский) федеральный университет, по согласованию); кандидат социологических наук **И.М. Кузнецов** (Институт социологии РАН); доктор психологических наук **Н.М. Лебедева** (Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”, по согласованию); доктор философских наук **В.С. Малахов** (Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, по согласованию); кандидат исторических наук **С.М. Маркедонов** (Российский государственный гуманитарный университет, по согласованию); доктор исторических наук **М.Ю. Мартынова** (Институт этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН); доктор политических наук **В.А. Михайлов** (Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, по согласованию); **Е.А. Михайлова** (Всероссийский центр изучения общественного мнения, по согласованию); кандидат географических наук **Н.В. Мкртчян** (Национальный

исследовательский университет “Высшая школа экономики”, по согласованию); доктор социологических наук **К.С. Мокин** (Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Балаковский филиал, по согласованию); доктор социологических наук **В.И. Мухомель** (Институт социологии РАН); доктор политических наук **Н.С. Мухаметшина** (Самарский государственный технический университет, по согласованию); доктор политических наук **Н.М. Мухарямов** (Казанский государственный энергетический университет, по согласованию); кандидат социологических наук **Л.Р. Низамова** (Казанский (Приволжский) федеральный университет, по согласованию); доктор политических наук **Э.А. Паин** (Институт социологии РАН); доктор философских наук **В.И. Пантин** (Национальный исследовательский институт мировой экономики и международных отношений им. Е.М. Примакова РАН); кандидат социологических наук **С.В. Рыжова** (Институт социологии РАН); член-корреспондент РАН **И.С. Семененко**; доктор социологических наук **Н.Г. Скворцов** (Санкт-Петербургский государственный университет, по согласованию); доктор исторических наук **Т.Б. Смирнова** (Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, по согласованию); доктор социологических наук **Е.Р. Смирнова-Ярская** (Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”, по согласованию); доктор психологических наук **Г.В. Солдатова** (МГУ им. М.В. Ломоносова, по согласованию); кандидат исторических наук **Р.А. Старченко** (Институт этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН); кандидат исторических наук **В.В. Степанов** (Институт этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН); доктор психологических наук **Т.Г. Стефаненко** (МГУ им. М.В. Ломоносова, по согласованию); доктор политических наук **А.-Х. Султыгов** (журнал “Вестник российской нации”, по согласованию); доктор исторических наук **В.В. Трепавлов** (Институт российской истории РАН); доктор философских наук **М.Х. Фарукшин** (Казанский (Приволжский) федеральный университет, по согласованию); доктор юридических наук **М.П. Фомиченко** (Всероссийский государственный университет юстиции (РПА Минюста России), по согласованию); доктор исторических наук **Д.А. Функ** (МГУ им. М.В. Ломоносова, по согласованию); член-корреспондент РАН **А.В. Черных**; доктор исторических наук **Ю.К. Чистов** (Музей антропологии и этнографии им. Петра Великого (Кунсткамера) РАН); доктор исторических наук **Ю.П. Шабает** (Институт языка, литературы и истории Коми научного центра УрО РАН); доктор исторических наук **В.А. Шнирельман** (Институт этнологии и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН).

• Организовать при Президиуме РАН Комиссию РАН по инновационным проблемам транспорта и логистики. Председателем комиссии назначить академика РАН **В.И. Колесникова**. Утвердить состав комиссии.

Бюро комиссии: академик РАН **В.И. Колесников** — председатель; доктор технических наук **С.М. Резер** (Всероссийский институт научной и технической информации РАН) — первый заместитель председателя; доктор технических наук **Э.А. Гагарский** (АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт морского транспорта “Союзморниипроект”») — заместитель председателя по проблемам управления на транспорте; член-корреспондент РАН **Н.А. Махутов** — заместитель председателя по проблемам безопасности на транспорте; доктор экономических наук **А.В. Резер** (Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II) — учёный секретарь; кандидат экономических наук **О.В. Белозёров** (ОАО “Российские железные дороги”); академик РАН **В.В. Козлов**; доктор экономических наук **Б.М. Лапидус** (ОАО “Российские железные дороги”); кандидат политических наук **И.Е. Левитин** (Администрация Президента РФ); доктор технических наук **Б.А. Левин** (Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II); доктор технических наук **А.С. Мишарин** (ОАО “Российские железные дороги”); доктор технических наук **В.Н. Морозов** (Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II); академик **Г.В. Осипов**; доктор технических наук **Ю.О. Пазойский** (Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II); член-корреспондент РАН **В.М. Приходько**; кандидат экономических наук **М.Ю. Соколов** (Министерство транспорта РФ); академик РАН **В.М. Фомин**; академик РАН **С.Л. Чернышёв**; академик РАН **Е.И. Якушенко**.

Члены комиссии: доктор экономических наук **Н.А. Асаул** (Министерство транспорта РФ); кандидат технических наук **П.В. Баскаков** (Публичное акционерное общество «Центр по перевозке грузов в контейнерах “ТрансКонтейнер”»); доктор технических наук **О.В. Белый** (Санкт-Петербургский научный центр РАН); член-корреспондент РАН **В.А. Бородин**; академик РАН **А.С. Бугаев**; доктор технических наук **В.Д. Вермель** (Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н.Е. Жуковского); кандидат технических наук **В.А. Галанович** (ОАО “Российские железные дороги”); доктор технических наук **В.Д. Геррами** (Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”); доктор экономических наук **В.Н. Голоскоков** (Октябрьская железная дорога — филиал ОАО “Российские железные дороги”); доктор технических наук **А.Н. Гуда** (Ростовский государственный университет путей сообщения); академик

РАН **А.Ю. Измайллов**; академик РАН **И.А. Каляев**; доктор технических наук **А.Г. Кириллова** (Министерство транспорта РФ); член-корреспондент РАН **С.В. Клинков**; член-корреспондент РАН **В.А. Лопота**; доктор технических наук **И.Г. Малыгин** (Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН); доктор экономических наук **Д.А. Мачерет** (Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II); академик РАН **В.П. Мешалкин**; доктор технических наук **С.В. Панин** (Институт физики прочности и материаловедения СО РАН); академик РАН **Г.А. Попов**; доктор технических наук **И.Н. Розенберг** (ОАО “Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте”); член-корреспондент РАН **А.Е. Сазонов**; член-корреспондент РАН **М.В. Сильников**; кандидат экономических наук **В.В. Степов** (ОАО “Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта”); член-корреспондент РАН **Е.В. Шахматов**.

• Утвердить академика РАН **Т.М. Энеева** главным редактором журнала “Космические исследования” РАН с 28 февраля 2017 г. на новый срок — пять лет.

Утвердить редакционную коллегию журнала “Космические исследования” РАН с 28 февраля 2017 г. сроком на пять лет: академик РАН **Т.М. Энеев** — главный редактор; доктор физико-математических наук **В.Г. Курт** (журнал “Космические исследования”) — заместитель главного редактора; доктор физико-математических наук **В.В. Сазонов** (Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН) — заместитель главного редактора; доктор физико-математических наук **М.А. Вашковьяк** (Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН); доктор физико-математических наук **Б.В. Козелов** (ФГБНУ “Полярный геофизический институт”); доктор физико-математических наук **В.М. Линкин** (Институт космических исследований РАН); доктор физико-математических наук **М.И. Панасюк** (МГУ им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына); член-корреспондент РАН **А.А. Петрукович**; член-корреспондент РАН **В.Г. Петухов**; академик РАН **Г.А. Попов**; доктор физико-математических наук **О.Н. Ржига** (Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН); доктор физико-математических наук **В.В. Сидоренко** (Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН).

• Утвердить академика РАН **В.А. Васильева** главным редактором журнала “Функциональный анализ и его приложения” РАН с 28 февраля 2017 г. сроком на пять лет.

ЮБИЛЕИ

АКАДЕМИКУ РАН В.В. БОЛДЫРЕВУ — 90 ЛЕТ



Владимир Вячеславович БОЛДЫРЕВ — выдающийся учёный в области химии твёрдого тела, создатель научной школы, автор более 700 научных публикаций, в том числе 16 монографий, инициатор перевода многих зарубежных учебников по химии твёрдого тела на русский язык. Он выработал прин-

ципиально новый подход к изучению зависимости реакционной способности от реальной структуры твёрдого вещества, учитывающий селективность влияния различных дефектов кристалла на реакционную способность; выявил причины локализации и автолокализации процесса; разработал методы управления скоростью и механизмом реакции путём варьирования способов приготовления реагентов, допирования, радиационного и механического воздействия. На этой основе учёный совместно со своими учениками разработал новые составы для фотографии, малооперационную технологию металлизации отверстий печатных плат, составы для аккумуляторов водорода, способы солиubilизации лекарственных веществ и новые методы их адресной доставки, бескислотный способ переработки фосфорных руд, способы извлечения лития методом интеркалирования из природных высокоминерализованных вод.

В. В. Болдырев преобразовал старейший Институт физико-химических основ переработки

минерального сырья СО АН СССР в Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН и свыше 20 лет был его директором. Он был создателем и заведующим кафедрой радиационной химии Томского государственного университета и первой в СССР кафедрой химии твёрдого тела Новосибирского государственного университета, директором Научно-образовательного центра “Молекулярный дизайн и экологически безопасные технологии” НГУ, одним из организаторов и первым президентом (1976–1998) Международной механохимической ассоциации при IUPAC, президентом Международного консультативного комитета по реакционной способности твёрдых веществ (1993–1996), инициатором проведения международных конференций по механохимии и механическому сплавлению, всесоюзных школ по химии твёрдого тела, совместных научных конференций по механохимии с японскими учёными и по химии твёрдого тела — с индийскими. В настоящее время он советник РАН в ИХТТМ СО РАН, председатель диссертационного совета при этом институте, профессор НГУ. Среди его учеников 1 академик РАН, 1 член-корреспондент РАН, 18 докторов и 87 кандидатов наук.

В. В. Болдырев — заслуженный работник высшей школы РФ, лауреат Государственной премии РФ, награждён многими орденами и медалями, в том числе орденами Трудового Красного Знамени, “Знак Почёта”, Почёта, медалью ордена “За заслуги перед Отечеством” II степени, золотой медалью им. Н. С. Курнакова РАН, медалью им. Н. Н. Семёнова Российской академии инженерных наук, золотой медалью Европейской научно-промышленной палаты.

Сдано в набор 14.04.2017 г.	Подписано к печати 22.05.2017 г.	Дата выхода в свет 25.07.2017 г.	Формат 60 × 88 ¹ / ₈
Цифровая печать	Усл.печ.л. 11.0	Усл.кр.-отт. 3.5 тыс.	Уч.-изд.л. 11.0
	Тираж 303 экз.	Зак.253	Бум.л. 5.5
		Цена свободная	

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77–67137 от 16 сентября 2016 г. в Роскомнадзоре
Учредитель: ФГБУ “Российская академия наук”

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