

# СОДЕРЖАНИЕ

---

Том 89, номер 8, 2019

---

## С кафедры президиума РАН

*Б.М. Шустов*

О роли науки в изучении и парировании космических угроз 777

Нужен национальный проект в области космической деятельности.

*Обсуждение научного сообщения* 793

## Точка зрения

*С.Л. Шварцев*

Основы теории добавочного усложнения в биосфере Земли 800

*С.А. Горохов*

Циклическое движение религий: от единства к... единству 811

## Организация исследовательской деятельности

*Ю.В. Мохначева, В.А. Цветкова*

Россия в мировом массиве научных публикаций 820

## Проблемы экологии

*В.А. Зеленцов, А.М. Алабян, И.Н. Крыленко, И.Ю. Пиманов, М.Р. Пономаренко,*

*С.А. Потрясаев, А.Е. Семёнов, В.А. Соболевский, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов*

Модельно-ориентированная система оперативного прогнозирования речных наводнений 831

## Из рабочей тетради исследователя

*О.В. Бухарин*

Механизмы природной защиты организма хозяина при инфекции 844

## История академических учреждений

*М.П. Федорук, О.Е. Яковлева*

НГУ – университет нового типа 851

## Этюды об учёных

*А.Д. Ноздрачёв, М.А. Пальцев*

Отец русской физиологии. К 190-летию со дня рождения И.М. Сеченова 860

## В мире книг

Рецензируются: А.А. Шахматов "Избранная переписка" 874

И.И. Смольский "Новая астрономическая теория ледниковых периодов" 878

## Официальный отдел

Награды и премии 880

---

# CONTENTS

---

## Vol. 89, No. 8, 2019

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

---

## On the Rostrum of the RAS Presidium

*B.M. Shustov*

The role of science in the study of and response to space threats 777

A national project in the field of space activities is needed.

*Discussion of the scientific report* 793

---

## Point of View

*S.L. Shvartsev*

The main theories of additional complications in the Earth's biosphere 800

*S.A. Gorokhov*

Cyclical movement of religions: from unity to... unity 811

---

## Organization of Research

*Yu.V. Mokhnacheva, V.A. Tsvetkova*

Russia in the world array of scientific publications 820

---

## Problems of Ecology

*V.A. Zelentsov, A.M. Alabyan, I.N. Krylenko, I.Yu. Pimanov, M.R. Ponomarenko, S.A. Potryasaev, A.E. Semenov, V.A. Sobolevsky, B.V. Sokolov, R.M. Yusupov*

Model-driven system for operational forecasting of river flooding 831

---

## From the researcher's notebook

*O.V. Bukharin*

Mechanisms of the natural defenses of hosts organism to infection 844

---

## History of Academic Institutions

*M.P. Fedoruk, O.E. Yakovleva*

Novosibirsk State University – a new type of university 851

---

## Profiles

*A.D. Nozdrachev, M.A. Paltsev*

The founder of Russian physiology. *To the 190th anniversary of the birth of Ivan M. Sechenov* 860

---

## In the Book World

A.A. Shakhmatov. Selected correspondence 874

I.I. Smul'skii. New astronomical theory of the ice ages 878

---

## Official Section

Awards and prizes 880

---

---

С КАФЕДРЫ  
ПРЕЗИДИУМА РАН

---

## О РОЛИ НАУКИ В ИЗУЧЕНИИ И ПАРИРОВАНИИ КОСМИЧЕСКИХ УГРОЗ

© 2019 г. Б.М. Шустов

*Институт астрономии РАН, Москва, Россия*  
*E-mail: bshustov@mail.ru*

Поступила в редакцию 04.03.2019 г.  
Поступила после доработки 20.03.2019 г.  
Принята к публикации 16.04.2019 г.

Во второй половине XX и начале XXI столетия человечество столкнулось с серьёзными проявлениями космических опасностей, из них самой актуальной является проблема космического мусора. Специалисты, занимающиеся космической деятельностью, ежедневно имеют с ней дело и осознают её в полной мере. Всё возрастающее внимание привлекает также фактор непредсказуемого поведения нашей главной звезды — Солнца, так называемая космическая погода. По масштабам последствий наиболее катастрофической считается астероидно-кометная опасность. Реальных проявлений биологической опасности пока не наблюдалось, хотя с развитием космической деятельности она приобретает всё большее значение. Временная шкала астрофизических опасностей — многие миллионы лет, поэтому с практической точки зрения она не представляет интереса. В статье кратко описаны основные виды космических опасностей. Автор анализирует опыт организации исследований и работ в этой области в мире и в России. Сравнительный анализ приводит к однозначному выводу о необходимости осуществления национальной программы изучения космических опасностей и парирования космических угроз. В основу статьи положен доклад, с которым автор выступил на заседании президиума РАН 15 января 2019 г.

**Ключевые слова:** космические угрозы, космический мусор, космическая погода, астероидно-кометная опасность, парирование космических угроз.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-5873898777-799>

Развитие человеческой цивилизации сопровождается углублением понимания и мира, в котором мы живём, и самого человека. При этом выявляются новые, ранее неизвестные опасности (угрозы). К ним можно отнести и космические угрозы. Наиболее серьёзными из них считаются [1]:

- *космический мусор (КМ)* — техногенное засорение околоземного космического пространства (ОКП), которое может повлечь за собой сокращение или даже прекращение космической

деятельности человечества; дополнительную, но меньшую по масштабам опасность представляет и метеорное вещество в ОКП;

- *космическая погода* — плохо прогнозируемые вариации активности Солнца, вызывающие резкие изменения обстановки в ОКП и представляющие опасность серьёзных потерь, прежде всего в сфере производственной деятельности (в энергетике, связи и др.);

- *астероидно-кометная опасность (АКО)* — опасность, обусловленная возможными столкновениями Земли с малыми телами Солнечной системы (астероидами и кометами) с причинением крупного ущерба населению планеты вплоть до уничтожения цивилизации;

- *биологическая угроза* обусловлена как опасностью занесения на Землю внеземных (или земных, но изменившихся вследствие пребывания в космосе) форм жизни, так и выносом человеком различных организмов в космос с возможным "заражением" нашими формами жизни других тел Солнечной системы;



ШУСТОВ Борис Михайлович — член-корреспондент РАН, научный руководитель ИНАСАН.

- *астрофизические опасности* — наиболее экзотический, но тем не менее реальный вид космических угроз. Его связывают с возможностью различных катаклизмов: прохождением Солнечной системы через межзвёздные облака, что может привести к "смятию" солнечной магнитосферы и усиленной бомбардировке Земли космическими лучами, а также существенно повлиять на химические процессы в верхней атмосфере с вспышками близких сверхновых и т. д.;

- *военные угрозы* — очень важная (даже важнейшая в наше беспокойное время) тема, но она требует отдельного рассмотрения.

## КОСМИЧЕСКИЕ ОПАСНОСТИ И УГРОЗЫ КАК ПРЕДМЕТ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ

В соответствии с принятой в МЧС классификацией, чрезвычайные ситуации, связанные с космическим мусором (и отчасти с биологическим заражением), рассматриваются как угрозы техногенного характера, остальные — природного.

Во второй половине XX и начале XXI столетия человечество столкнулось с серьёзными проявлениями космических опасностей первых трёх типов. По актуальности проблема номер один — космический мусор. Специалисты, занимающиеся космической деятельностью, сталкиваются с ней ежедневно и осознают её в полной мере. Всё возрастающее внимание привлекает также фактор непредсказуемого поведения нашей главной звезды — Солнца, так называемая космическая погода. По масштабам последствий наиболее катастрофической считается астероидно-кометная опасность. Реальных проявлений биологической опасности пока не наблюдалось, хотя с развитием космической деятельности она приобретает всё большее значение. Временная шкала астрофизических опасностей — многие миллионы лет, поэтому с практической точки зрения она не представляет интереса, но зато привлекает внимание учёных и отчасти любителей науки.

Мы используем два термина — "угроза" и "опасность". По сути, это близкие, но не тождественные понятия. *Опасность* представляет собой неблагоприятный фактор природного, техногенного или социального происхождения. Она имеет потенциальный (возможный) характер, в то время как *угроза* — это опасность, связанная с конкретным временем и местом. Скажем, существует потенциальная опасность для космической деятельности, обусловленная космическим мусором, и время от времени появляются определённые угрозы столкновения международной космической станции (МКС) с конкретными объек-

тами КМ. В контексте дальнейшего изложения нужно также определить понятие риска. *Риск* — это количественная оценка, определяемая как сочетание вероятности реализации той или иной угрозы и тяжести её последствий. Такая количественная оценка лежит в основе механизма принятия решений. Например, при вероятности столкновения МКС с опасным объектом более 0,0001 принимается решение о манёвре уклонения.

Пока ещё немало учёных, управленцев, государственных деятелей высокого уровня относятся к проблемам космических опасностей (по крайней мере, к некоторым из них) со скептицизмом. Не то чтобы сомневаются в их реальности, но не воспринимают их как значимую проблему. В России подобное отношение встречается довольно часто. Однако во всём мире растёт понимание того, что космические опасности как минимум следует изучать, что это предмет науки.

Общеизвестно, что науку как сферу человеческой деятельности, которая направлена на добывание и осмысление знания, принято делить на фундаментальную и прикладную. Если с представлениями о том, что называть прикладной наукой, особых разночтений нет, то образ фундаментальной науки довольно расплывчат. Характерны определения типа "фундаментальная наука — это наука, имеющая своей целью создание теоретических концепций и моделей, практическая применимость которых неочевидна"<sup>1</sup>.

Вопрос о прикладном или фундаментальном характере исследований — не просто дань систематике. В зависимости от того, как классифицируются научные исследования, во многих странах определяются источники их поддержки. Обычно фундаментальные исследования поддерживаются за государственный счёт, в то время как в финансировании прикладных исследований (гражданского назначения) главная роль отводится будущим потребителям научных результатов (как государственным органам, так и частным компаниям). Поэтому важно определиться, какая это наука — изучение космических опасностей — прикладная или фундаментальная?

Прежде чем ответить на этот вопрос, изложу своё мнение по поводу общего назначения науки. Человек — часть природы, но он уже давно не подчиняется её законам и даже нарушает многие из них. Для всех остальных живых существ такое нарушение грозило бы вымиранием. Но люди — особенные создания, мы изобрели такой мощный инструмент воздействия на природу, как наука, основное предназначение которой — поиск путей устойчивого существования (даже процвета-

<sup>1</sup> [https://studwood.ru/1573722/ekonomika/fundamentalnye\\_prikladnye\\_issledovaniya](https://studwood.ru/1573722/ekonomika/fundamentalnye_prikladnye_issledovaniya)



Таблица 1. Классификация объектов космического мусора

Класс объектов КМ по размеру	I 0,1–1 см	II 1–10 см	III > 10 см
Количество объектов на всех высотах	130 млн	900 тыс.	34 тыс.
Количество объектов на низких орбитах	20 млн	500 тыс.	23 тыс.
Последствия столкновения с космическим аппаратом	Серьёзное повреждение КА	Серьёзное повреждение или уничтожение КА	Гарантированное уничтожение КА
Существующие методы защиты	Применение защитных экранов	Манёвр уклонения	Манёвр уклонения

ния) вида *homo sapiens* в сложном и непрерывно меняющемся мире. В этом смысле вся наука, включая её фундаментальные аспекты, носит прикладной характер.

Что касается исследований по тематике космических опасностей, то важнейшая фундаментальная задача — это глубокое изучение факторов и процессов, составляющих суть космических опасностей, их значения для устойчивого развития человечества, а важнейшая практическая задача — своевременное выявление космических угроз, надёжная оценка рисков, связанных с этими угрозами, и разработка методов противодействия им.

## КОСМИЧЕСКИЙ МУСОР

Этому виду космических опасностей уделяется наибольшее внимание [2–4]. Под космическим мусором<sup>2</sup> обычно подразумевают все неиспользуемые искусственные объекты, в основном в околоземном пространстве. К ним относятся вышедшие из строя спутники, отработавшие ступени ракет, а также фрагменты от их распада и столкновений. Все эти объекты являются опасным фактором воздействия на функционирующие космические аппараты (КА). Техногенный космический мусор образовался, образуется и будет образовываться в результате космической деятельности. Это своеобразное проявление принципа Ле Шателье, применимого к равновесию любой природы — механическому, тепловому, химическому, электрическому и даже, как мы видим на примере проблемы космического мусора, к социально-технологическому.

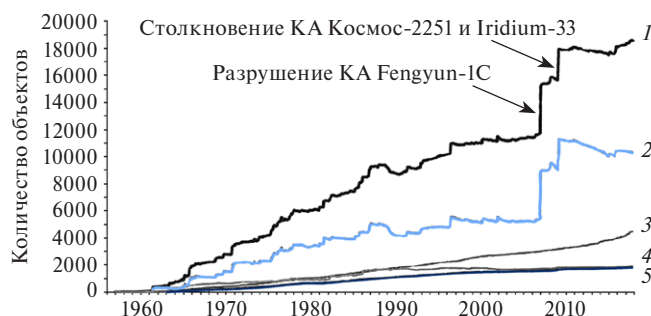
Понятно, что главная опасность космического мусора — это угроза столкновений с рабочими КА, которые могут вывести аппараты из строя. На заседании "круглого стола" в Совете Федерации РФ 12 марта 2013 г., посвящённом проблемам космических угроз, В.А. Поповкин, руководивший в то

время Роскосмосом, сообщил, что частота фатальных столкновений КА с объектами космического мусора быстро увеличивается и на начало 2013 г. составляла одно столкновение в полтора года. Современные оценки дают уже одно столкновение в год. Следует учитывать, что столкновения в космосе способны не только вывести из строя рабочий аппарат, но и резко увеличить число новых опасных объектов вследствие фрагментации.

В таблице 1 приведена широко принятая классификация объектов КМ по размеру, отмечены возможные последствия столкновений и существующие методы защиты рабочих КА. Данные взяты из актуальных на январь 2019 г. материалов NASA.

Приведённое в начале статьи определение космического мусора вполне рабочее и устоявшееся, но здесь правильнее было бы использовать более точный термин — "техногенный космический мусор". Ведь в ОКП постоянно присутствует также и естественный мусор, который также представляет определённую опасность для работающих КА. Собственно, обозначающий космический мусор английский термин *debris* был введён и до сих пор используется в исследованиях структуры и эволюции населения малых тел Солнечной системы, в которых термин *debris disk* означает околозвёздный диск, состоящий из пыли и каменных обломков — "строительного мусора", оставшегося от стадии формирования планетной системы. Эту естественную составляющую (природный космический мусор) всегда нужно учитывать. На низких орбитах, а также в областях концентрации КА (например, в области геосинхронных орбит) количество техногенного космического мусора превышает природную составляющую. Но во всех областях ОКП в микронном диапазоне размеров частиц превалирует естественный компонент космического мусора. Возникает вопрос, опасен ли этот компонент, ведь столкновения с такими объектами не могут уничтожить космический аппарат. Ответ однозначен: да, опасен! Такие столкновения наносят ущерб, подобный пескоструй-

<sup>2</sup>[https://ru.wikipedia.org/wiki/Космический\\_мусор](https://ru.wikipedia.org/wiki/Космический_мусор)



**Рис. 1.** Динамика увеличения числа крупных объектов космического мусора

1 — всего объектов, 2 — фрагменты, 3 — КА, 4 — ступени ракет, 5 — технологические детали

ной обработке поверхности, особенно солнечным панелям и оптике звёздных датчиков и научных приборов, которые не могут быть покрыты защитными материалами.

Масса накапливающегося в ОКП мусора постоянно увеличивается, на начало 2019 г. она уже превысила 8 тыс. т. Но главную опасность представляет количественный фактор. Как видно из таблицы 1, количество объектов, потенциально способных вывести из строя работающий КА или пилотируемый корабль, достигает многих сотен тысяч, а объектов, могущих нанести космическому аппарату заметный ущерб, в тысячи раз больше.

Количество объектов КМ постоянно увеличивается. Основной вклад в этот процесс вносят, конечно же, США, Китай и Россия. Рисунок 1 иллюстрирует динамику роста числа крупных объектов космического мусора, которые отслеживаются в системе постоянного мониторинга. Приведены сводные данные из доклада представителя NASA на 55-й сессии Научно-технического подкомитета Комитета ООН по мирному использованию космоса (февраль 2018 г.). На этом рисунке хорошо видны последствия крупных столкновений (разрушений), приведших к скачкообразному росту количества объектов КМ. Помечены два конкретных события — намеренное разрушение Китаем китайского же КА Fengyun-1C и столкновение спутников Космос-2251 и Iridium-33. Можно отметить также незначительные спады численности КМ. Они обусловлены тем, что на низких орбитах работает механизм самоочищения, то есть объекты сходят с таких орбит в нижние слои атмосферы, где разрушаются (сгорают). На орбитах ниже 400 км время торможения (схода с орбиты) крупных объектов составляет несколько лет, на высотах 800 и более километров КА может находиться десятки-сотни лет. На самых низких орбитах высотой 200 км время схода измеряется днями или неделями. В связи с ожидаемым в ближайшем будущем резким ростом количества запусков

коммуникационных "созвездий" КА (OneWeb, Samsung, Boeing, SpaceX, СФЕРА и т.д.) ситуация с нарастанием количества опасных объектов КМ станет ещё более серьёзной.

Рисунок 1 отражает лишь часть общей картины, ведь уверенно отслеживаются только самые крупные объекты космического мусора размером более 10 см на низких и более 30–50 см на высоких орбитах. При этом проводится мониторинг не всего ОКП, основное внимание уделяется наиболее засорённым орбитам, которые чаще всего используются для работы космических аппаратов. Это область низких орбит, особенно солнечно-синхронных орбит (ССО), геостационарные орбиты (ГСО) и область орбит навигационных искусственных спутников Земли.

Невозможно обнаружить и проводить постоянный мониторинг всех малоразмерных (но всё же опасных) объектов КМ. Для анализа поведения космического мусора — а его количество огромно — применяют модели, описывающие структуру и динамику численности подобных объектов [2, 3, 5]. Особенно важный элемент таких моделей — описание процесса "саморазмножения" КМ вследствие столкновений. Наиболее обсуждаемый сценарий этого процесса описал в конце прошлого века эксперт NASA Д. Кесслер [6]. Согласно самому печальному варианту данного сценария, при превышении некоторой критической концентрации объектов космического мусора процесс его саморазмножения (даже при прекращении дальнейших запусков) начинает нарастать, что грозит полным прекращением космической деятельности.

Ещё одна опасность, обусловленная КМ, связана с падением на нашу планету сошедших с орбиты крупных техногенных объектов. Особенно резонансными являются падения, сопровождающиеся угрозой химического поражения значительных территорий высокотоксичным топливом ракетных ступеней, а также падения с источниками ядерной энергии на борту.

Проблема космического мусора ещё далека от решения. Мы находимся на стадии интенсивного её изучения, и роль науки здесь особенно значима. Можно выделить три основные направления исследований и работ по проблеме КМ: обнаружение и мониторинг объектов КМ; оценка рисков; разработка методов предотвращения засорения и очистки ОКП. Эти направления формулируются как типичные прикладные, но в каждом из них роль фундаментальных исследований весьма существенна, хотя и не всегда очевидна. Рассмотрим эти направления чуть подробнее.

**Обнаружение и мониторинг объектов КМ.** В настоящее время в качестве основных средств обнаружения и мониторинга объектов КМ используются радары (только для низкоорбитальной

**Таблица 2.** Вклад в наблюдения объектов в ОКП, 2016–2018 гг., %

Год	ГК "Роскосмос"	АНЦ	МАК "Вымпел"	ИПМ РАН	ИСЗФ СО РАН	ИНАСАН
2016	53,2	18,4	5,7	13,2	4,7	1,6
2017	48,2	29,5	3,4	12,8	4,8	1,3
2018	41,7	32,0	12,8	9,6	3,5	0,4

области ОКП) и оптические средства — оптические камеры и лидары. На низких орбитах можно отслеживать объекты КМ размером до 1 см, однако они очень легко теряются из-за сложности точного прогнозирования их движения. Большинство обломков остаются незамеченными, хотя уже созданы мощные средства обнаружения и мониторинга КМ, и они постоянно совершенствуются.

В США основную программу по наблюдениям космического мусора осуществляет специальное управление NASA (NASA Orbital Debris Program Office)<sup>3</sup>, действует большое число специализированных наблюдательных пунктов и инструментов. В их числе обсерватория NASA Orbital Debris Observatory<sup>4</sup>, главный инструмент которой — ртутный телескоп апертурой 3 м (NASA-LMT). Стратегическое командование США (USSTRATCOM) совместно с наблюдательными центрами Европейского союза ведут каталог известных орбитальных объектов, используя наземные радары и телескопы, а также телескопы космического базирования. Широко применяются радары TIRA, EISCAT (Европа), Goldstone, Haystack и радиолокатор с фазированной антенной решёткой Cobra Dane (США). Создана значительная система космического базирования для контроля ОКП на базе спутников SBV, BLOCK 10, ORS5, GSSAP (США), NEOSAT, SAPHIRE (Канада).

В Советском Союзе была создана система контроля космического пространства (СККП), которая ведёт каталог орбитальных объектов на основании данных системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН) и специализированных станций наблюдения за околоземным пространством. В России поиском и идентификацией орбитальных объектов, помимо СПРН, занимается специализированный радиооптический комплекс распознавания космических объектов "Крона", а также станция оптических наблюдений "Архыз", Алтайский оптико-лазерный центр им. Г.С. Титова, оптико-электронный комплекс "Окно". И всё же наибольший вклад в наблюдения космического мусора дают средства, созданные и поддерживаемые Роскосмосом, в частности,

в рамках программы АСПОС (Автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях). Наблюдения здесь организованы на неплохом уровне, однако, к сожалению, в России пока нет радаров гражданского назначения, предназначенных для контроля космического мусора. Отечественная система наблюдений КМ на аппаратах космического базирования также пока не развёрнута.

В наблюдениях объектов КМ, находящихся на высоких орбитах, главную роль играют оптические инструменты, и здесь вклад российской аппаратуры значителен. В настоящее время в основном используются оптико-электронные средства ГК "Роскосмос", АО "Астрономический научный центр", "МАК "Вымпел", привлекаемые средства РАН — Института прикладной математики (ИПМ) им. М.В. Келдыша РАН, Института солнечно-земной физики СО РАН, Института астрономии РАН (табл. 2).

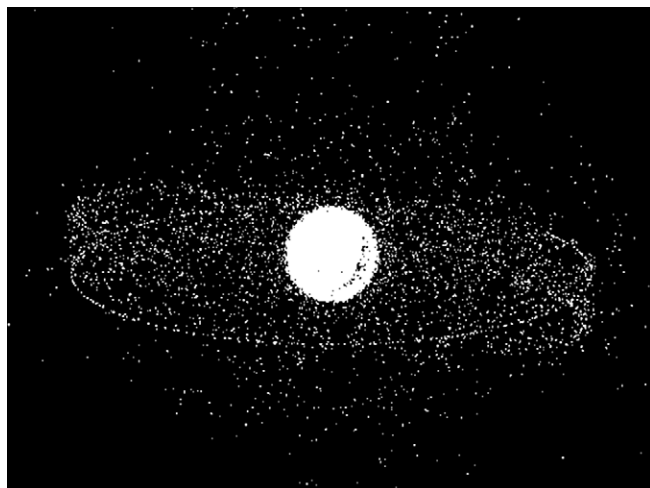
Роль исследовательских учреждений РАН выглядит относительно незначительной, но нужно отметить, что это, как правило, наблюдение самых сложных для обнаружения и мониторинга объектов. Так, в Институте астрономии РАН занимаются в основном наблюдениями мало-размерных объектов в зоне геосинхронных орбит с помощью довольно крупного телескопа Цейсс-2000. Стандартные средства Роскосмоса проводить такие наблюдения не позволяют.

Следует отметить существенный, причём на протяжении многих лет, вклад в наблюдения большой академической сети ISON (International Scientific Optical Network), поддерживаемой ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, которая предназначена главным образом для регистрации космического мусора с помощью телескопов класса 50–70 см. Значительная часть базы данных космического мусора ИПМ РАН основана на наблюдениях сети ISON, особенно наблюдений объектов в зоне геостационарной орбиты. Иллюстрацией может служить мгновенный снимок распределения КМ в ОКП (рис. 2). Хорошо выделяются сгущения КМ на низких орбитах и в области геосинхронных орбит. Важной особенностью сети ISON является её широкое распространение по планете. В последнее время появились также станции Роскосмоса в Бразилии и Астрономического научного центра

<sup>3</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/NASA\\_Orbital\\_Debris\\_Program\\_Office](https://en.wikipedia.org/wiki/NASA_Orbital_Debris_Program_Office)

<sup>4</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/NASA\\_Orbital\\_Debris\\_Observatory](https://en.wikipedia.org/wiki/NASA_Orbital_Debris_Observatory)





**Рис. 2.** Распределение объектов космического мусора в ОКП, построенное на основе базы данных ИПМ РАН на момент 24.06.2016 12:13:19 UTC

в Чили. Кроме того, следует отметить, что в конце 1990-х — начале 2000-х годов именно средства РАН были основными для поддержания российской системы оптических наблюдений объектов в ОКП.

Изучение и мониторинг космического мусора естественного происхождения ведётся главным образом методом регистрации ударов метеорных тел с помощью датчиков, установленных на космических аппаратах. Датчики позволяют изучать плотность потока очень малых частиц с массами  $10^{-5}$ – $10^{-15}$  г. В нашей стране и в мире накоплен большой опыт по регистрации таких частиц [7, 8], разрабатываются новые, всё более точные методы, основанные на изучении физики высокоскоростного удара.

**Оценка риска.** Риск, связанный с угрозой столкновения того или иного объекта с КМ, определяется вероятностью столкновения и его последствиями для космического аппарата. Расчёт вероятности конкретного столкновения требует хорошего знания элементов орбиты обоих объектов. Как правило, для большинства КА и тем более для объектов КМ точность определения положения на орбите в геоцентрической системе координат составляет несколько сотен метров. Понятно, что расчёт вероятности столкновений объектов гораздо меньших размеров представляет собой непростую задачу. Особенно трудно прогнозировать с высокой точностью движение объектов сложной формы, например, объектов с большим отношением площади к массе.

Изучение последствий столкновений — серьёзная научная проблема, относящаяся к физике высокоскоростного удара. Несмотря на огромное количество выполненных в разных странах лабораторных экспериментов (см. обзор работ российских исследователей в [8]), позволивших

выработать вполне применимые рекомендации по снижению вредных последствий ударов, нельзя сказать, что здесь уже сделано всё возможное.

**Разработка методов предотвращения засорения и очистки ОКП.** Ещё более широкое поле для применения научных методов — необходимость решения важнейшей задачи по уменьшению засорённости ОКП [4]. Выделяют пассивные и активные методы улучшения экологии ближнего космоса. Пассивные методы включают постоянный контроль объектов КМ и, что самое важное, реализацию мер и решений, позволяющих минимизировать количество КМ при запусках и технологических экспериментах. Активные методы, предполагающие изменение орбит или, намного реже, разрушение опасных объектов КМ, весьма разнообразны. Для объектов на высотах до 600–800 км разрабатываются методы, которые позволяют перевести опасный объект на более низкую орбиту, с тем чтобы он вошёл в атмосферу Земли и сгорел. Для КМ на более высоких орбитах энергетически более выгодными оказываются методы отвода объектов на орбиты захоронения.

В ряде стран, в том числе и в России, разрабатывается много различных технических решений, в числе которых сборщик КМ, буксир для крупных объектов, средства увеличения миделевого сечения объектов КМ на низких орбитах (баллоны, "плавающие якоря" и т. д.), электродинамические тросовые системы, лазерные средства изменения орбиты КМ, пучковые средства и др. Некоторые из этих методов уже хорошо проработаны (например, буксир), другие, весьма перспективные, находятся на стадии исследований. В качестве примера из российской практики можно назвать лазерные методы отвода объектов с помощью наземных лазеров и лазеров космического базирования, разрабатываемые, в частности, в Институте прикладной физики РАН, и пучковые методы, разрабатываемые в МАИ и в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН.

Особый интерес представляет изучение возможностей использования материалов, из которых состоят объекты космического мусора, например, в двигательных установках КА, которые сами и занимаются сбором КМ<sup>5</sup>. В Федеральную космическую программу России на 2016–2025 гг. включено создание к 2025 г. "уборщика" мусора с геостационарных орбит "Ликвидатор". Однако сейчас судьба проекта неясна.

Натурные эксперименты по очистке ОКП уже начались. В сентябре 2018 г. были проведены первые испытания "космического уборщика" RemoveDebris (Великобритания), который вышел на орбиту в июне 2018 г. 17 сентября 2018 г. был

<sup>5</sup> <https://www.bnkomi.ru/data/news/93089/>

выполнен первый этап: из основного КА массой 100 кг выпущена 3-киллограммовая модель объекта КМ — пикоспутник (cubesat), который раздулся в сферу диаметром 1 м, затем из основного КА на него была накинута транспортировочная сеть. В 2019 г. на КА RemoveDebris протестирована система, которая использует камеры и лазеры для наблюдения за частицами мусора, и механизм гарпуна для фиксации (протыкания) космического мусора. В конце концов основной КА выпустит специальный "якорь", который замедлит ИСЗ и отнесёт его в атмосферу Земли, где он и сгорит.

Можно заключить, что проблема космического мусора многопланова. Её решение предполагает совместную работу ведущих российских исследователей как прикладного, так и фундаментально профиля. Перечислю некоторые вопросы, привлекающие внимание учёных и требующие междисциплинарного подхода с участием геофизиков, физиков, механиков, баллистиков, специалистов по материалам, по методам работы с Большими данными (Big Data) и т.д. Особенно важна роль экспертов по космическому праву, но, к сожалению, в России их крайне мало.

1. Распределение естественного и техногенного КМ в ОКП и зависимость этого распределения от различных условий и факторов (вхождение в метеороидные потоки, солнечная активность и т.д.).

2. Модели населённости КМ и анализ условий реализации синдрома Кесслера.

3. Привлечение технологий и средств наблюдения, применяемых в фундаментальных науках (астрономии, математике): методы наблюдения очень слабых объектов (например, малоразмерных КА), методы точного прогноза движения объектов сложной формы, методы восстановления изображений космических объектов и т.д.

4. Развитие динамических моделей атмосферы.

5. Уточнение физики высокоскоростных ударов.

6. Физика и химия разрушений под действием космических факторов.

7. Новые принципы увода отработавших КА и КМ.

8. Уточнение физики атмосферных входов.

9. Новые подходы к утилизации КМ (например, перспективные принципы использования вещества КМ в двигателях КА).

10. Развитие технологии Больших данных для решения задач КМ.

11. Изучение проблем мусора на других телах Солнечной системы (мусор в окололунном пространстве и на Луне, мусор, возникающий при разработке космических ресурсов и отражении астероидной опасности и т.д.).

12. Роль фактора КМ в моделях устойчивого развития космической деятельности.

## КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА

Под "космической погодой" понимают состояние среды в околоземном пространстве, определяемое сложным взаимодействием различных факторов: активностью Солнца, включая солнечный ветер, геомагнитной активностью, галактическими космическими лучами и т.д. [9, 10]. Космическая погода как наука — это направление на стыке геофизики, астрофизики и гелиофизики.

Основные факторы риска космической погоды — нарушения функционирования электронных устройств и радиосвязи, изменение орбит спутников, вредные биологические воздействия, нарушения в электросетях вследствие геоиндуцированных токов (ГИТ).

Катастрофические проявления космической погоды происходят на шкале несколько десятков лет. Чаще всего вспоминают энергетическую катастрофу 13–14 марта 1989 г. в штате Квебек (Канада), когда на 9 часов была отключена электроэнергия из-за наводки мощных (сотни ампер) геоиндуцированных токов, вызванных магнитной бурей. Самое опасное событие — выход из строя повышающего трансформатора на ядерном заводе в Нью-Джерси. Из глобальных последствий было отмечено нарушение связи с космическими аппаратами.

Согласно оценкам В.Д. Кузнецова (ИЗМИ РАН), при прогнозировании рисков, связанных с катастрофическими событиями космической погоды, возможный экономический ущерб может достигать следующих значений:

- космос — потеря спутника — \$ 500 млн, нарушение связи как следствие сильной магнитной бури — до \$ 100 млрд;

- энергетика — последствия сильной магнитной бури — \$ 400 млн, потери от отключения электроэнергии до \$ 3–6 млрд;

- авиация — отложенный авиарейс — \$ 100 тыс., изменение маршрута через полярные зоны — \$ 10–50 тыс.; ущерб отдельных компаний — \$ 50 тыс. — \$ 1 млн ежедневно.

Понятно, что противодействие такой опасности, как космическая погода, можно организовать лишь на уровне своевременного предупреждения о предстоящем событии и принятия мер по уменьшению ущерба. Для этого необходимо иметь в России эффективную службу Солнца (космической погоды). В США мощная служба такого рода действует с 2002 г. — US National Space Weather Program. К данным этой службы предоставляется международный доступ, но в случае сбоев наши центры мониторинга космической погоды, организованные в Институте прикладной геофизики им. ак. Е.К. Фёдорова и в ИЗМИРАНе, оказываются неспособными в полной мере выполнять



свои обязанности. Перспективная задача — создание, помимо наземных, средств космического сегмента.

### АСТЕРОИДНО-КОМЕТНАЯ ОПАСНОСТЬ

В геологической истории Земли сохранилось много свидетельств катастроф, вызванных падением на Землю крупных и очень крупных (размером более 1 км в диаметре) тел. Падение таких космических объектов приводит к выделению колоссальной энергии. В результате на поверхности планеты образуются кратеры, диаметр которых в 15–20 раз превышает размеры упавшего тела. На Земле, на суше и на дне океана обнаружено около 200 крупных кратеров — следов подобных катастроф. Некоторые из них превышают 200 км в диаметре. Крупнейший изученный ударный кратер на Земле — Вредефорт — расположен в 120 км от Йоханнесбурга (ЮАР). Его диаметр составляет 250–300 км, возраст — около 2 млрд лет<sup>6</sup>. Знаменитый кратер Чиксулуб в Мексике (диаметр 180 км) образовался при падении 10-километрового астероида (или кометы) примерно 65 млн лет назад. Считается (хотя это мнение разделяют не все специалисты), что это событие послужило причиной массового вымирания живых существ на Земле, в том числе исчезновения динозавров, и ознаменовало переход от мелового периода мезозойской эры к третичному периоду кайнозоя.

Конечно, большая часть космических тел, сталкивающихся с Землёй, падает в моря и океаны. К настоящему времени обнаружено около 20 кратеров, возникших в результате таких событий. Причина малочисленности известных подводных кратеров связана как с относительной молодостью морского дна, так и с его малой исследованностью. Значительная часть некогда образовавшихся ударных кратеров и на суше, и на морском дне исчезла вследствие эрозийных процессов. На поверхности Луны и других планет, спутников планет и астероидов, где интенсивность эрозии мала, наблюдается огромное количество ударных кратеров, которые представляют собой исторические записи о последствиях столкновений в далёком и не очень далёком прошлом. Эти записи позволили сделать принципиально важный вывод: в последние 2 млрд лет темп бомбардировки Луны (а значит, и Земли) существенно не менялся, то есть удары космических тел продолжатся.

Яркими примерами того, что падение относительно крупных тел на планеты Солнечной системы — процесс далеко не закончившийся, стало падение в 1994 г. кометы Шумейкера-Леви 9

на Юпитер и, конечно, Тунгусская катастрофа, случившаяся 30 июня 1908 г. в труднодоступном и малонаселённом районе Сибири. Мощный взрыв на высоте примерно 6–8 км привёл к вывалу леса (примерно 80 млн деревьев) на территории более 2 тыс. км<sup>2</sup>. Энергия взрыва была равна примерно 15 Мт ТНТ. Изучение этого феномена привело большинство исследователей к убеждению, что Земля столкнулась с небольшой (размером 40–50 м в диаметре) кометой, состоящей в основном из льда. Именно поэтому пока не удалось отыскать остатки Тунгусского тела. Но Тунгусский метеороид мог быть и каменным. На нашей недавней памяти 15 февраля 2013 г. произошло известное челябинское событие [11], также свидетельствующее о реальности угроз, связанных с астероидно-кометной опасностью. Пострадало более 1600 человек, материальный ущерб превысил 1 млрд руб. И это ещё очень благоприятный исход: если бы это небесное тело вошло в атмосферу ближе к вертикали, последствия были бы чудовищными. Правда, всё равно найдутся скептики, считающие астероидную опасность, скорее, мифом.

Частота и последствия столкновений сильно зависят от размеров падающего на Землю тела. В таблице 3 приведены современные данные о средней частоте и результатах столкновений тел различных размеров с Землёй. Подобная таблица была опубликована в работе [12], но с тех пор с учётом новых полученных данных оценки несколько изменились.

Ответ на вопрос, какие столкновения надо считать наиболее опасными, в общем плане очевиден. Понятно, что столкновения с частотой раз в миллионы или миллиарды лет практического интереса не представляют, но являются очень интересным объектом фундаментальных исследований. А вот падения достаточно крупных (размером от 10 до 500 м) тел, которые могут нанести значительный ущерб и происходят довольно часто на шкале времени 100 тыс. лет (примерное время существования вида *homo sapiens*), находятся в зоне внимания науки, занимающейся астероидно-кометной опасностью [13].

Отметим следующие общие характеристики проблемы АКО:

- практически нет верхнего предела опасного воздействия;
- как показывают оценки, усреднённый уровень угрозы мал, но при возникновении конкретного события (столкновения) оно может оказаться главным не только для отдельной страны, но и для всего человечества (например, скромное по астрономическим меркам челябинское событие 15 февраля 2013 г. стало главным на тот момент событием мирового масштаба);

<sup>6</sup> <http://www.hartrao.ac.za/other/vredefort/vredefort.html>

**Таблица 3.** Средняя частота и результаты столкновений малых тел различных размеров с Землёй

Объект	Размеры	Интервал между падениями, лет	Размер кратера, км	Результат
Пылинка	$D < 0,1$ см	Непрерывно		Сгорает, оседает
Метеороид Астероид Комета	$0,1 \text{ см} < D < 0,5 \text{ м}$	0,05 (0,1 м)		Сгорает
	$0,5 \text{ м} < D < 20\text{--}30 \text{ м}$	~1 (5 м) ~30 (15 м)		Сгорает, малая доля долетает до поверхности
	30 м	~ 250	Нет > 0,5	Типа Тунгусского события Аризонский кратер
	100 м	~ 3 тыс.	2	Региональная катастрофа
	1 км	1 млн	20	Глобальная катастрофа
	>10 км	100 млн	> 200	Конец цивилизации

- опасность имеет глобальный характер;
- в отличие от всех остальных естественных космических угроз, угроза столкновений с крупными небесными телами может быть достаточно уверенно прогнозируема при условии, что будут решены задачи заблаговременного обнаружения и оценки риска.

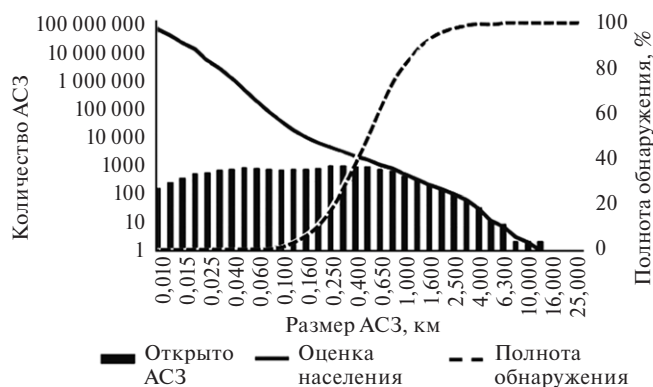
По своей структуре проблема АКО — комплексная. Выделяют три её основные составляющие (аналогично с проблемой космического мусора):

- задача обнаружения (выявления) всех опасных небесных тел (ОНТ) и определения их свойств;
- оценка риска;
- противодействие и уменьшение ущерба.

**Проблема обнаружения ОНТ.** В современной трактовке проблемы АКО вопрос об обнаружении крупных ОНТ должен рассматриваться как задача оперативного и массового (то есть не ниже некоторого порога полноты, обычно 90%) выявления опасных тел размером более 50 м на дальних подступах к планете (не менее чем за 3–4 недели до возможного столкновения). Для обнаружения таких тел необходимы довольно крупные широкоугольные телескопы. Пока что количество обнаруженных опасных небесных тел размером более 50 м не превышает 1% от общей оценки числа таких тел. Так что проблема обнаружения ОНТ стоит по-прежнему остро. Рисунок 3 отражает полноту наших сведений об ОНТ. Конкретно информация приведена для так называемых астероидов, сближающихся с Землёй (АСЗ), то есть для астероидов с перигелийным расстоянием, не превышающим 1,3 а.е. Их намного больше, чем сближающихся с Землёй комет. Более 98% открытий ОНТ осуществляются средствами США. Российские учёные и специалисты участвуют в международной кооперации по обнаружению ОНТ, но, к сожалению, вклад наших

наземных средств — обсерваторий и сетей ISON и МАСТЕР (МГУ им. М.В. Ломоносова) — пока весьма скромнен и не превышает 0,1% от общего числа открытий АСЗ.

Ведущие страны уделяют проблеме обнаружения и определения свойств опасных ОНТ (да и в целом проблеме АКО) гораздо больше внимания, чем Россия. На разработку и реализацию методов противодействия этой угрозе в мире выделяется всё больше средств. После челябинского события в США, например, на выполнение программ обнаружения опасных небесных тел отводится более 40 млн долл. в год. На отдельные проекты целевым образом предоставляются ещё более значительные суммы. Важно, что проблема АКО отражена в законодательстве США. Координирующую роль с точки зрения обнаружения опасных небесных тел и оповещения о возможном столкновении государство поручило NASA. Согласно закону (NASA Authorization Acts of 2008, 2010), это агентство в числе прочих задач уполномочивается:



**Рис. 3.** Полнота обнаружения АСЗ (штриховая линия) и прогнозируемое распределение популяции АСЗ по размерам (сплошная линия); количество известных АСЗ (тёмные столбцы) в интервале размеров (данные NASA)

- координировать работу сетей по обнаружению опасных небесных тел;
- обеспечить подготовку космической миссии с целью изучения потенциально опасного астероида и космической миссии среднего класса с целью выявления объектов размером более 140 м, сближающихся с Землёй;
- разработать политику уведомления федеральных органов агентства и соответствующих учреждений в случае чрезвычайных ситуаций, обусловленных угрозой столкновения, рекомендовать федеральное агентство или агентства, которые будут отвечать за защиту Соединённых Штатов от околоземных объектов;
- развивать сотрудничество с другими странами, располагающими значительными ресурсами, с целью осуществления совместных программ обнаружения и каталогизации опасных небесных тел.

Все эти задачи выполняются: финансируемая и/или контролируемая NASA сеть наземных обсерваторий, оснащённых специально созданными либо модернизированными инструментами, обнаруживает подавляющее большинство открываемых ОНТ. Реализуется и космическая программа OSIRIS-REX (КА запущен в 2016 г.) для изучения потенциально опасного астероида Bennu, аппарат уже находится близ астероида. По сообщению Л. Джонсон (NASA), в 2017 г. подписаны соглашения между NASA, ЕАС (Комиссия по атомной энергии), FEMA (Федеральное агентство по управлению в чрезвычайных ситуациях) о взаимодействии по проблеме астероидно-кометной опасности, создана национальная система противодействия этой угрозе.

В исследованиях по обсуждаемому направлению лидируют США, причём не только по обнаружению опасных небесных тел. В документах, принятых ООН, зафиксирована ведущая роль в мире трёх информационно-аналитических центров по проблеме АКО. Два из них контролируются США. Это Центр малых планет (Minor Planet Center — MPC), который работает под эги-

дой Международного астрономического союза, расположен в Кембридже (США) и финансируется NASA, а также Программный центр NASA по проблеме АКО в Лаборатории реактивного движения (NASA NEO Program Office at JPL). Третий центр — это Центр по проблеме АКО программы SSA Европейского космического агентства (ESA SSA NEO Centre).

В последнее время в области обнаружения и мониторинга ОНТ в России вроде бы наметился определённый прогресс. В ИСЗФ СО РАН появился свой телескоп для обнаружения ОНТ в дальнем космосе. Это проект крупного (1,6 м) широкоугольного (поле зрения  $2,8^\circ$ ) обзорного телескопа АЗТ-33ВМ. Телескоп АЗТ-33ВМ и первые снимки, выполненные на этом перспективном инструменте, показаны на рисунке 4. По своим возможностям он сравним со знаменитым американским PanSTARRS. К сожалению, не обошлось без трудностей. Телескоп введён в опытную эксплуатацию в декабре 2015 г., но до сих пор не может заработать в полную силу из-за отсутствия средств на современный широкопанорамный приёмник излучения. Цена вопроса ~200 млн руб. РАН эту проблему решить не может. Обращения в Роскосмос о поддержке этого важного проекта были встречены с пониманием, но помешали нерешённые вопросы межведомственного согласования.

Современная (с учётом опыта челябинского события 15 февраля 2013 г.) трактовка противодействия угрозе АКО включает задачу обнаружения не только крупных (более 50–100 м в диаметре), но и относительно малых (декаметровых) тел. Для этого можно использовать телескопы небольшой апертуры (~0,5 м), но их нужно много и они должны быть равномерно распределены по земному шару. Особенно остро стоит проблема обнаружения опасных небесных тел, приходящих с дневного неба. Такая задача требует выведения телескопов в космос. В работе [14] предложен вариант создания системы обнаружения околозем-

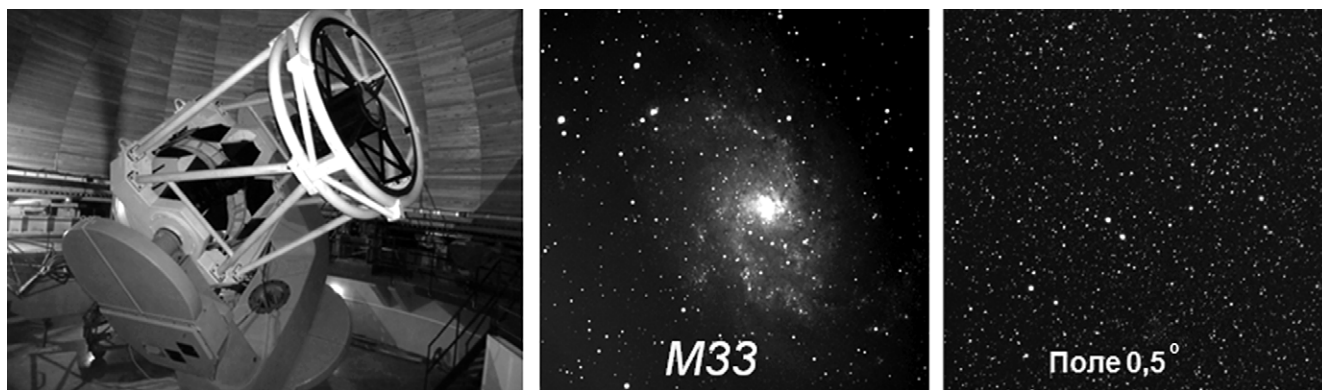


Рис. 4. Телескоп АЗТ-33ВМ и первые выполненные на нём снимки



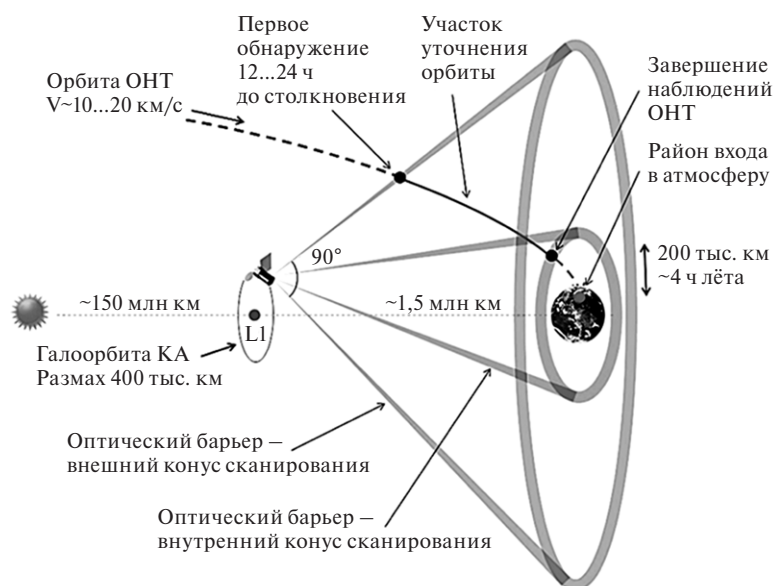


Рис. 5. Принципиальная схема работы космического аппарата СОДА

ных ОНТ. В результате проработки аван-проекта СОДА (Система обнаружения дневных астероидов) удалось разработать экономичные варианты реализации такой системы. Она состоит из одного или двух КА, помещаемых в окрестность точки L1 (в системе Земля–Солнце) на расстоянии около 1,5 млн км от Земли. Телескоп, находящийся в окрестности точки L1, будет видеть ОНТ, летящие к Земле от Солнца, при благоприятных для наблюдений значениях фазового угла. Показано, что задача обнаружения дециметровых ОНТ, летящих со стороны Солнца, может быть решена с помощью относительно небольшого телескопа апертурой около 0,3 м. На рисунке 5 приведена схема работы обсерватории СОДА. Главный режим работы — создание конусного барьера (или барьеров) с помощью одного или несколь-

ких телескопов. ОНТ наблюдается при пересечении барьера (барьеров), с тем чтобы за 3–4 ч до возможного входа в атмосферу Земли (при скорости сближения 20 км/с), то есть на расстоянии около 250 тыс. км от Земли, орбита ОНТ и место возможного столкновения были определены с заданной точностью. (На рисунке 5 показано два конических барьера, но их может быть больше.)

На период 2019–2025 гг. в рамках Федеральной космической программы планировалась проработка методов решения проблемы АКО, в частности по проекту СОДА, но при коррекции ФКП в конце 2018 г. соответствующие исследования были из неё исключены.

**Оценка риска.** Оценка риска и принятие решения — весьма ответственная и непростая задача. Требуется с высокой степенью надёжности определить вероятность столкновения, возможные его последствия и выработать адекватное решение.

Российские учёные принимают активное участие в разработке надёжных способов оценки рисков. В работе [15] детально рассчитаны последствия падения 300-метрового тела на Землю. Некоторые выводы на первый взгляд кажутся парадоксальными. На рисунке 6 показаны распределения максимального избыточного давления на поверхности Земли при ударах астероида диаметром 300 м под различными углами к поверхности. Как видно из рисунка, при вертикальном ударе область избыточного давления намного меньше, чем при косом.

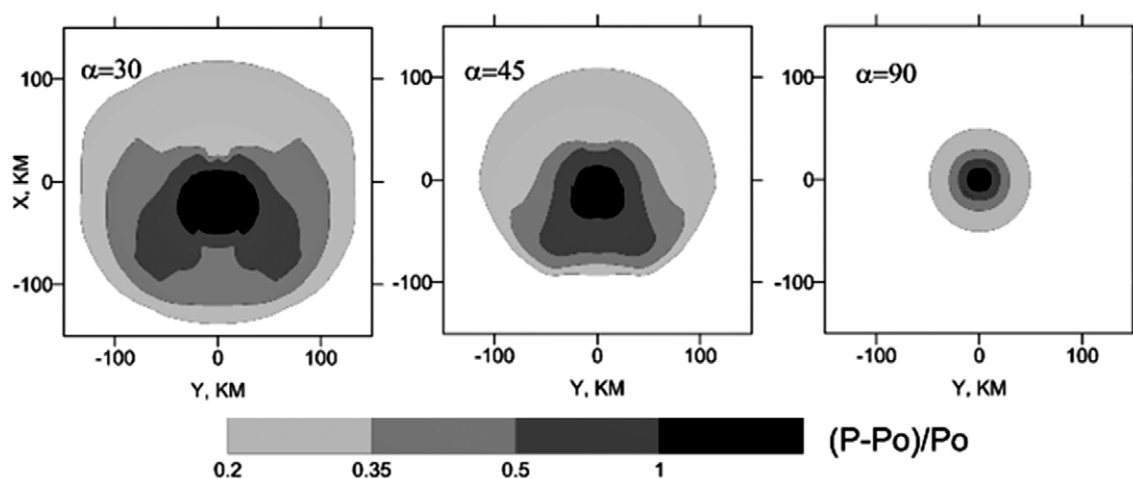


Рис. 6. Распределение максимального избыточного давления на поверхности Земли при ударах астероида диаметром 300 м под разными углами к поверхности: в случае косого удара астероид движется сверху (из области  $X > 0$ ) вниз и в точке  $X=0$ ,  $Y=0$  касается поверхности

**Проблема противодействия астероидно-кометной опасности.** В России, как и во всём мире, интенсивно изучаются методы парирования АКО. Есть два вида решения этой проблемы: отклонение угрожающего тела (то есть изменение его орбиты, с тем чтобы тело миновало нашу планету) и разрушение такого тела. Методы отклонения считаются предпочтительными. Над различными вариантами воздействия на угрожающее тело с целью изменения его орбиты работают учёные и специалисты ИПФ РАН, обоих федеральных ядерных центров, ИКИ РАН, ИНАСАН, МАИ, СПбГУ и других учреждений. Интерес и энтузиазм есть, но выполнить реальный космический тестовый эксперимент возможностей нет. Мы внимательно следим за ходом проекта AIDA (реализуется в сотрудничестве NASA и ESA), целью которого является отработка технологии кинетического импактора на двойном астероиде Дидим<sup>7</sup>.

Проблема прямого противодействия пока мало изучена. Главная неопределённость — плохое априорное знание свойств угрожающего тела и, соответственно, неуверенность в оценке последствий применения оружейных методов разрушения или методов изменения орбиты ОНТ.

#### БИОЛОГИЧЕСКИЕ УГРОЗЫ (ПЛАНЕТАРНАЯ БИОЗАЩИТА)

Под планетарной биозащитой (планетарным карантин) подразумевается комплекс мер по предотвращению заражения космических тел земными формами жизни и, наоборот, по недопущению заноса космических форм жизни на Землю.

Экспансия человечества в космос с использованием автоматических или пилотируемых космических кораблей неизбежно означает вынос в космос земной жизни, прежде всего в виде микроорганизмов. Абсолютно стерилизовать КА практически невозможно. По самым жёстким нормам стерилизации допускается наличие (вынос в космос) некоторого количества микроорганизмов на 1 м<sup>2</sup> поверхности КА. Более жёсткая стерилизация (например, в результате нагрева до очень высоких температур (многие сотни градусов) или интенсивного гамма-облучения) приводит к нарушению функциональности космических аппаратов или их важных элементов. Таким образом, полностью исключить вероятность техногенной панспермии нельзя — существует опасность заражения других планет земными формами жизни. Это может привести к изменению биоценоза планеты посещения, если он есть. Помимо опасности для местной биосферы, занесение чужих организмов может исказить

общий биологический портрет планеты, а значит, будут искажены и результаты исследований по изучению проблемы происхождения жизни. Основной целью планетарной защиты в этом случае является сохранение первозданных природных процессов, предотвращение попадания на другие планеты организмов с Земли.

Опасность для жителей нашей планеты представляет и так называемое обратное загрязнение — занос внеземных организмов, если таковые существуют, в биосферу. Разновидность обратного загрязнения — возвращение на Землю земных же организмов, вынесенных ранее в космос и испытывавших воздействие космических факторов. В этом случае природа организмов может измениться и при возвращении они будут представлять опасность для биосферы Земли. Современная наука пока не способна прогнозировать, каким образом изменятся побывавшие в космосе или на другой планете земные микроорганизмы, насколько они мутировали [16]. Поэтому главная цель планетарной защиты — недопущение распространения в биосфере чужеродных организмов.

Ещё в прошлом веке было подписано международное соглашение о том, что при освоении планет Солнечной системы необходимо предотвращать их заражение, как и их спутников, земными формами жизни. Комитет по космическим исследованиям (КОСПАР) при Международном совете по науке разработал концепцию планетарного карантина. Она сводится к следующему: все космические полёты ранжируются на пять категорий в зависимости от биологического интереса к планете-мишени и типа экспедиции<sup>8</sup>.

**Категория I:** любая миссия в места, не представляющие непосредственного интереса для исследования химической эволюции и/или происхождения жизни; к таким местам относят, например, Солнце или Меркурий.

**Категория II:** любая миссия в места, представляющие непосредственный интерес для исследования химической эволюции и/или происхождения жизни, при этом риск того, что загрязнение с аппарата может поставить под угрозу исследование, крайне мал (Луна, Венера или кометы).

**Категория III:** миссия с пролётной траекторией или выход на орбиту в местах, представляющих непосредственный интерес для исследования химической эволюции и/или происхождения жизни, при этом риск того, что загрязнение с аппарата может поставить под угрозу исследование, чрезвычайно высок. К таким местам относятся Марс, Европа, Энцелад. К каждой конкретной миссии могут предъявляться дополнительные требования, такие как расчёт траектории смещения,

<sup>7</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/AIDA\\_\(mission\)](https://en.wikipedia.org/wiki/AIDA_(mission))

<sup>8</sup> <https://planetaryprotection.nasa.gov/about-categories/>



чистое сборочное помещение, снижение биологической нагрузки.

**Категория IV:** миссия с использованием зонда, спускаемого аппарата и/или планетохода в местах, представляющих непосредственный интерес для исследования химической эволюции и/или происхождения жизни. К каждой конкретной миссии выдвигаются определённые требования. Например, требование полной стерилизации, если миссия включает в себя поиск внеземной жизни, если планируется посадка либо перемещения в регионе, где наземные микроорганизмы могут выжить и развиваться, либо где могут присутствовать местные формы жизни.

Миссии категории IV дополнительно подразделяются на:

**категорию IVa:** зонд, спускаемый аппарат или планетоход, в цели которого не входит поиск марсианской жизни; уровень биологической нагрузки — не более 300 микроорганизмов на 1 м<sup>2</sup> (но не более 30 тыс. микроорганизмов на весь аппарат);

**категорию IVb:** зонд, спускаемый аппарат или планетоход, в цели которого входит поиск жизни; добавляются дополнительные требования для предотвращения загрязнения образцов;

**категорию IVc:** при наличии у зонда, спускаемого аппарата или планетохода целей в специальных областях Марса (выделенные КОСПАР области Марса, где могут легко выжить и распространиться земные организмы, а также велика вероятность существования марсианских форм жизни); к таким относятся области, в которых периодически образуется жидкая вода, и благоприятные для развития жизни территории (исходя из современных представлений о её развитии); в этом случае весь аппарат должен быть подвергнут стерилизации с остаточной биологической нагрузкой не более 30 микроорганизмов;

**категорию V:** отдельная категория, регулирующая поведение миссий, в ходе которых планируется возврат образцов с небесных тел на Землю.

Миссии категории V подразделяются на:

**категорию V (неограниченный возврат):** образцы из мест, где в соответствии с представлениями современной науки нет жизни; возможность обратного загрязнения ничтожно мала, никаких особых требований не предъявляется;

**категорию V (ограниченный возврат):** в случаях, когда современная наука не может гарантировать отсутствие жизни на целевом небесном теле, выдвигаются дополнительные требования, такие как помещение в карантин образцов, а также любого аппаратного обеспечения, использовавшегося в ходе миссии.

Неспециалистов в области космической биологии (в том числе и меня) удивляет живучесть

земных организмов в условиях космоса. В их выживании убеждают, в частности, результаты, полученные в Институте медико-биологических проблем РАН в рамках реализации космического эксперимента "Биориск". Цель этого эксперимента — оценка возможности выживания микроорганизмов в условиях космического пространства. В одном из экспериментов предметом исследования стал целый ряд биологических объектов: бактерии, грибы, личинки африканского комара, икра рыб, семена растений, ракообразные, эмбрионы, которые были экспонированы в условиях открытого космоса в течение 31 месяца. Согласно результатам, опубликованным в работе [17], многие виды довольно стойко перенесли пребывание в космосе. Погибла икра рыб, но выжили личинка комара, некоторые семена, бактерии и грибы, отдельные ракообразные. То есть планетарный карантин можно рассматривать не только в отношении микроорганизмов, но и иных форм жизни.

Понятно, что эти и другие результаты, полученные учёными и специалистами ИМБП РАН, имеют огромное значение и для решения задачи защиты от опасности биологического заражения, и для наук о происхождении жизни. Старая гипотеза панспермии пока не опровергнута, и вполне возможно, что жизнь появилась на Земле в результате занесения на неё "космической заразы".

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ И ПАРИРОВАНИИ КОСМИЧЕСКИХ УГРОЗ НА ПРИМЕРЕ ПРОБЛЕМЫ АСТЕРОИДНО-КОМЕТНОЙ ОПАСНОСТИ

Представляется очевидным, что решение задачи изучения и парирования космических угроз не может оставаться инициативой какого-то одного исследовательского центра или группы исследователей. Это дело общегосударственное, оно требует понимания и поддержки со стороны властных структур. В России такое понимание пока не достигнуто. Одна из задач, поставленных на проведённом 15 января 2019 г. заседании президиума РАН, посвящённом проблеме космических угроз, — разработка концепции российской программы изучения и методов парирования космических угроз, соответствующей современным реалиям. Чтобы выполнить эту задачу, нужно проанализировать состояние дел в данной области.

Как показано в предыдущих разделах, в наблюдениях космического мусора у нас сохраняются некоторые проблемы, но всё же можно отметить неплохой по сравнению с мировым уровень этих работ. Что касается опасности биологического заражения, то уровень соответствующих исследований в России вполне удовлетворительный, однако осуществляемые по этому направлению

программы требуют поддержки, особенно с использованием средств космического базирования. По проблеме мониторинга космической погоды основные заключения и рекомендации даны в конце соответствующего раздела. Кратко опишем подходы к организации работ по изучению и парированию АКО в Европейском союзе и в России. Это направление в нашей стране нужно развивать практически с самого начала, и пример Европы для нас более показателен, так как США здесь ушли уже очень далеко.

В Европейском союзе с 2009 г. выполняется долгосрочная программа "Контроль ситуации в космосе" ("Space Situational Awareness" — SSA). В документах, извещающих о запуске программы, заявляется, что она направлена на поддержку европейской независимости в сфере контроля, доступа и использования космоса. Директорат программы входит в качестве подразделения в структуру Европейского космического агентства.

Европейская система SSA включает три направления:

- контроль космического пространства (включая ИСЗ, другие КА и космический мусор);
- мониторинг космической погоды;
- исследование объектов, сближающихся с Землёй.

На первом этапе реализации программы SSA (2009–2011 гг.) разработаны её принципы и системы, технические требования к управлению, политике в области данных, архитектуре европейской системы SSA, созданы необходимые службы и центры данных, подготовлены новые радарные проекты. В 2012–2019 гг. осуществляется второй этап проекта, когда система должна начать полноценно функционировать. Затраты в целом на программу составляют многие сотни миллионов евро. Весьма важная особенность проекта SSA заключается в том, что для решения смежных задач наблюдения космического мусора и опасных астероидов и комет планируется максимально использовать одни и те же средства наблюдения. Часть результатов проекта была представлена на Дармштадтской конференции, организованной Европейским космическим агентством в январе 2019 г. Следует отметить, что все предыдущие семь конференций были посвящены проблеме космического мусора. Восьмая же называлась "ЕКА конференция по обнаружению объектов, сближающихся с Землёй, и космическому мусору: синергия подходов" ("ESA NEO and Debris Detection Conference — Exploiting Synergies")<sup>9</sup>. В последнее время наметилась тенденция создания национальных и региональных центров по проблеме

АКО в Восточно-Азиатском регионе — Китае, Японии, Южной Корее.

Что касается России, то проблеме АКО уделяют внимание не только эксперты, но и правительственные органы, однако конкретные работы ведутся только в инициативном порядке. В то же время необходимость общегосударственного подхода осознаётся и на уровне руководства страны. Отметим важное заседание "круглого стола" на тему "О разработке мер по обеспечению планетарной защиты от космических рисков и угроз" 12 марта 2013 г., организованное Комитетом Совета Федерации РФ по науке, образованию, культуре и информационной политике и Комитетом СФ РФ по обороне и безопасности. На заседании были приняты рекомендации по созданию национальной системы предупреждения и парирования космических рисков и угроз. Среди рекомендаций, адресованных, в частности, РАН, есть такая: "Предусмотреть проведение систематических междисциплинарных фундаментальных исследований, направленных на изучение и учёт космических угроз и рисков в системе стратегических рисков национальной и международной безопасности, и прикладных разработок, направленных на создание перспективных методов и средств измерений, наблюдений и контроля в рамках единой национальной и международной системы обнаружения, предупреждения и парирования космических угроз и рисков"<sup>10</sup>.

Наиболее активную роль в продвижении идеи системного подхода к проблеме предупреждения АКО играет РАН. Для координации исследований в этой области при Совете РАН по космосу создана Экспертная рабочая группа по космическим угрозам. Её тематика включает вопросы, связанные с исследованием проблем космического мусора и АКО, которые в определённом смысле близки (по инструментальному и методическому подходам), и космической погоды. В неё вошли представители научных учреждений РАН, высших учебных заведений, Роскосмоса, МЧС, Росатома, Министерства обороны России и других заинтересованных ведомств и организаций<sup>11</sup>. Главной задачей, поставленной перед Экспертной группой совместным решением руководства РАН и Роскосмоса, была выработка проекта (концепции) программы федерального уровня "Создание российской системы противодействия космическим угрозам". Проект концепции был подготовлен [18], передан в Роскосмос и положительно оценён, но дальнейшего развития не получил, так как в агентстве сменилось руководство.

<sup>9</sup> <https://conference.sdo.esoc.esa.int/>

<sup>10</sup> [http://defence.council.gov.ru/activity/activities/round\\_tables/29/949/](http://defence.council.gov.ru/activity/activities/round_tables/29/949/)

<sup>11</sup> [http://www.inasan.ru/rus/asteroid\\_hazard/](http://www.inasan.ru/rus/asteroid_hazard/)

В последнее время РАН в рамках её резко урезанных в последние годы полномочий и возможностей пытается что-то предпринимать, но без реальной системной поддержки эта активность сводится к экспертной деятельности. На заседании президиума РАН 15 января 2019 г. отмечалось, что сейчас в России нет действующей программы высокого уровня по противодействию космическим угрозам, системная работа по координации исследований и практических работ (за исключением направления, связанного с космическим мусором) не ведётся. В результате роль России в международной кооперации в данной области незначительна и не соответствует статусу научной державы. Отсутствие ключевой отечественной информации по ряду направлений мониторинга космических угроз прямо влияет на уровень технологической независимости и обороноспособности Российской Федерации. К проблеме АКО это относится в первую очередь.

По аналогии с организацией дел в США и ЕС вполне логично было бы поручить роль основного организатора, ответственного за обнаружение опасных небесных тел, ГК "Роскосмос". Однако отношение Роскосмоса к проблеме АКО неустойчивое — от намерений поддержать соответствующие работы до игнорирования проблемы как таковой. Всё зависит от мнения руководства, которое часто меняется и, как правило, даже не успевает вникнуть в эту тематику, не рассматриваемую в качестве первоочередной в космической деятельности. Хотя следует признать, что предприятия Роскосмоса и их соисполнители в инициативном порядке провели ряд полезных научно-исследовательских работ по этой теме.

В последние годы наиболее активным государственным органом, уделяющим внимание проблеме АКО, оказалось МЧС РФ. Министерство способно решать задачи определения риска, принятия решений и уменьшения ущерба в случае ЧС, обусловленных столкновением ОНТ с Землёй на территории России. Во взаимодействии с Роскосмосом, РАН и Министерством обороны РФ ядром федеральной системы противодействия космическим угрозам могут стать структуры МЧС. При МЧС создана соответствующая рабочая группа, проведено несколько НИР по созданию прототипа информационной системы для сбора сведений о конкретных угрозах столкновений с опасными небесными телами. Будучи завершённой, такая система должна обеспечить надёжные прогнозы вероятности и условий столкновения (места, времени, параметров катастрофического выделения энергии и т.д.), а также оценку возможных последствий. Активизации таких работ способствовало челябинское событие 15 февраля 2013 г. Оказалось, что подобную информацион-

ную структуру, по крайней мере на уровне прототипа, можно создать в разумно короткие сроки — за несколько лет.

В последнее время в совещаниях и конференциях по проблеме АКО принимают участие специалисты Министерства обороны РФ. Их интерес привлекают главным образом методы предотвращения столкновений с опасными объектами. Заметную роль в решении проблемы астероидно-кометной опасности могут играть (и отчасти играют) эксперты Министерства иностранных дел РФ, Росатома и Минпромторга. В последние годы МИД выступает в качестве координатора деятельности России по обсуждаемому направлению на уровне ООН.

\* \* \*

Подробный анализ ситуации позволяет утверждать, что противодействие космическим угрозам — эволюционная необходимость для человечества. И во многих странах этот факт осознаётся не только учёными и специалистами, но и руководством, создаются национальные системы предупреждения таких угроз. Развивается международная деятельность в этом направлении, в частности, в рамках действующих под эгидой ООН программы "Международная сеть предупреждения об астероидах" (International Asteroid Warning Network — IAWN) и Консультативной группы по планированию космических миссий (Space Mission Planning Advisory Group — SMPAG). Разрабатываются и устанавливаются стандарты взаимодействия в этой области, однако роль России здесь пока невелика.

В России активность проявляют в основном эксперты и некоторые ведомства, прежде всего МЧС. Работы проводятся в инициативном порядке на уровне НИР, поскольку действующей программы высокого уровня по противодействию космическим угрозам в стране нет. Нет и эффективных инструментов для обнаружения ОНТ на дальних подступах (единственное такое средство — телескоп АЗТ-33ВМ, работающий, как отмечалось, лишь на 5% своей мощности). Российские планетарные радары в Евпатории и Уссурийске не планируется использовать по проблеме АКО, а потому они не готовы к изучению опасных небесных тел. В последнее время некоторые радиотелескопы системы "Квазар" (ИПА РАН) участвуют в пассивных радиолокационных наблюдениях ОНТ. Отсутствует (даже в качестве федеральной комплексной программы) космический сегмент средств обнаружения ОНТ — единственно реальный способ выявления опасных тел, приходящих с дневного неба, а их в ближнем космосе около половины всего населения ОНТ.



Потенциал нашей страны в решении проблемы АКО и ряда других космических опасностей не консолидирован, поскольку государство не выражает стремления решать эту задачу на должном уровне. Но России необходимо определиться, создав собственную систему противодействия космическим угрозам и интегрировав её в мировую. С этой целью следует инициировать программу федерального уровня, в реализации которой Роскосмос мог бы играть роль организации, ответственной за создание подсистемы обнаружения опасных небесных тел, МЧС — за систему в целом и информационно-аналитическую подсистему по оценке рисков, за выработку решений и организацию мер по уменьшению ущерба и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Другие ведомства и министерства могут выполнять работы по созданию средств прямого противодействия угрозам (МО РФ) и по приемлемой для России правовой интеграции в международное взаимодействие (МИД РФ).

В качестве срочных первоочередных мер предлагается разработать концепцию и провести комплексную НИР по созданию системы противодействия космическим угрозам. Координатором могут выступить Роскосмос, Минобрнауки России или РАН. И ещё нужно продемонстрировать готовность государства участвовать в решении проблемы космических угроз каким-либо конкретным действием, например, оперативно выделить финансирование на завершение оснащения единственного в России современного поискового телескопа АЗТ-33ВМ приёмниками излучения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Астероидно-кометная опасность: стратегия противодействия/Под ред. В. А. Пучкова. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015.
2. Вениаминов С. С., Червонов А. Космический мусор — угроза человечеству. М.: ИКИ РАН, 2012.
3. Космический мусор. Кн. 1. Методы наблюдений и модели космического мусора/Под ред. Г. Г. Райкунова. М.: Физматлит, 2014.
4. Космический мусор. Кн. 2. Предупреждение образования космического мусора/Под ред. Г. Г. Райкунова. М.: Физматлит, 2014.
5. Klinkrad H. Space Debris. Models and Risk Analysis. Springer, 2006.
6. Kessler D. J. Collisional Cascading: The Limits of Population Growth in Low Earth Orbit // *Advances in Space Research*. 1991. V. 11. Iss. 12. P. 63-66.
7. Сёмкин Н. Д., Воронов К. Е., Пияков А. В., Пияков И. В. Регистрация космической пыли искусственного и естественного происхождения // *Прикладная физика*. 2009. № 1. С. 86-102.
8. Новиков Л. С. Воздействие твёрдых частиц естественного и искусственного происхождения на космические аппараты. М.: Университетская книга, 2010.
9. Bothmer V., Daglis J. A. Space Weather. Physics and Effects. Springer, 2006.
10. Солнечно-земные связи и космическая погода // *Плазменная гелиогеофизика*/Под ред. А. А. Петруковича. М.: Наука, 2008.
11. Емельяненко В. В., Попова О. П., Чугай Н. Н. и др. Астрономические и физические аспекты Челябинского события 15 февраля 2013 г. // *Астрономический вестник*. 2013. Т. 47. № 4. С. 262-277.
12. B. M. Shustov, L. V. Rykhlova. Asteroid-Comet Impact Hazard: New Approaches // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2009. № 4. P. 317-323. Шустов Б. М., Рыхлова Л. В. Астероидно-кометная опасность: новые подходы // *Вестник РАН*. 2009. № 7. С. 579-586.
13. Астероидно-кометная опасность/Под ред. Б. М. Шустова, Л. В. Рыхловой. М.: Физматлит, 2010.
14. Шустов Б. М., Шугаров А. С., Нароенков С. А., Прохоров М. Е. Астрономические аспекты космических угроз: новые задачи и подходы к проблеме астероидно-кометной опасности после Челябинского события 15 февраля 2013 г. // *Астрономический журнал*. 2015. № 10. С. 867-880.
15. Шувалов В. В., Светцов В. В., Артемьева Н. А. и др. Астероид Апофис — оценка опасных последствий ударов подобных тел // *Астрономический вестник*. 2017. № 1. С. 1-16.
16. Хамидулина Н. М., Новикова Н. Д., Дешевая Е. А. Обеспечение планетарной защиты в экспедиции // *ФОБОС-ГРУНТ* проект космической экспедиции. Т. 1. М.: Полстар, 2011.
17. Novikova N. D., Polikarpov N. A., Deshevaya E. A. et al. Survival of dormant organisms after long-term exposure to the space environment // *Acta Astronautica*. 2011. V. 68. P. 1574-1580.
18. Шустов Б. М., Рыхлова Л. В., Кулешов Ю. П. и др. Концепция системы противодействия космическим угрозам: астрономические аспекты // *Астрономический вестник*. 2013. № 4. С. 327-340.

## НУЖЕН НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ В ОБЛАСТИ КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### ОБСУЖДЕНИЕ НАУЧНОГО СООБЩЕНИЯ

Дискуссию по докладу Б. М. Шустова открыл академик **А. М. Сергеев**, который отметил, что проблемами космического мусора, космической погоды и астероидной опасности интересуются многие органы исполнительной власти и госкорпорации, однако по разным причинам пока не участвуют активно в формировании соответствующей программы. Он предложил создать альянс, включая Академию наук, Роскосмос, Минсвязи России, МЧС, Минздрав РФ, чтобы подготовить весомый документ на эту тему.

Б. М. Шустов уточнил, что в Совет РАН по космосу, помимо представителей РАН, входят специалисты многих ведомств, даже МИДа. Однако, по его мнению, к вопросу об астероидной опасности следует привлечь внимание руководства страны, как это делается во многих государствах.

Как заметил академик РАН **В. Е. Фортов**, попытка связать космические угрозы и техногенные угрозы в космосе в одну программу предпринимается не в первый раз. Это делали американцы, существовала международная программа ООН, у нас была рабочая группа, куда входили представители Института физики Земли РАН. Но, несмотря на серьёзные усилия, ничего из этого не вышло. Все попытки разбиваются об один существенный аргумент: спрашивается, каковы потери от космического мусора и от метеоритов? И оказывается, что ясного цифрового анализа сделать не удаётся. Например, предлагается защищать нашу планету от метеоритов или комет размером больше 100 м в диаметре, что соответствует мощности взрыва 60 Мт (по сути дела, это несколько тунгусских метеоритов), но удалось найти всего один пример реального события такого рода — где-то в горах Австрии убило корову. Это очень серьёзный аргумент, хотя он и звучит несколько юмористически.

По мнению В. Е. Фортова, если браться за эту проблему, надо провести ясный цифровой анализ и показать, какие потери несёт наша космическая отрасль из-за космического мусора. Что касается катастрофических последствий, тут проблема несколько иная, поскольку это очень редкие события. Крупный астероид, подобный тому, последствия падения которого описал Альварес, появляется раз в 5–6 млн лет и убивает всё на своём пути, он способен спровоцировать так называемую "ударную зиму", похожую на "ядерную зиму".

Простые оценки показывают: чтобы с ним что-то сделать, не хватит всего накопленного на Земле ядерного потенциала. Чтобы всерьёз противостоять подобной угрозе, нужно держать на орбите тысячи мегатонн заряда, иметь совсем другие носители с иной энергетикой. Вывод напрашивается сам собой: мы ничего не можем сделать в случае возникновения такого события. Поэтому, считает В. Е. Фортов, следует очень внимательно продумать решение и рекомендации по докладу.

Отвечая, Б. М. Шустов признал, что падения астероидов случаются нечасто, но когда это происходит, реакция на них общества оказывается очень острой. Так было, например, со скромнейшим по космическим масштабам челябинским событием. Специалистам предъявлялись претензии: почему не предупредили население, почему не предсказали? Да, сверхвзрывы происходят раз в миллионы лет, но падения мелких небесных тел наблюдаются часто, и даже они имеют неблагоприятные последствия. А значит, надо предупреждать людей, но системы предупреждения нет, особенно если речь идёт о телах, которые приходят с дневного неба. Для этого нужна система, вынесенная в ближний космос.

Академик РАН **Л. М. Зелёный** согласился с тем, что после падения Челябинского метеорита отношение к астероидной опасности изменилось, потому что было ранено много людей. Сейчас очевидно, что даже не крупное событие может нанести большой вред. Но есть очень простой способ профилактики, который следует использовать до того, как мы научимся предотвращать подобные угрозы уже в космосе. Речь идёт о гражданской обороне, которой сейчас практически не уделяется внимания. Между тем любой школьник должен знать, что если он видит за окном яркую вспышку, надо ложиться на пол и отползать от окна. Все травмы, полученные при падении Челябинского метеорита, — результат отказа от преподавания в школах гражданской обороны. По мнению Л. М. Зелёного, в решение заседания нужно записать рекомендацию Министерству просвещения РФ ввести уроки по гражданской обороне.

Что касается астероидно-кометной опасности и техногенного засорения космического пространства, то в соответствии с федеральным законом "О космической деятельности" ответ-



ственность за безопасность в этой области лежит на госкорпорации "Роскосмос", подчеркнул директор департамента стратегического планирования Роскосмоса **Ю.Н. Макаров**. По его словам, это объединяющая тема для представляемого им ведомства и Российской академии наук.

Система мониторинга космического пространства должна быть превентивной. Сейчас большое количество аппаратов выходит из строя, и причины этого зачастую неизвестны. Иногда предполагается влияние каких-то частиц, высокоэнергетических космических лучей, техногенных объектов, иногда — преднамеренное воздействие на космический аппарат. Но это всё догадки. Чтобы знать точную причину, необходимо организовать систему мониторинга космического пространства, однако до недавнего времени мощной системой наблюдения располагали только США. К настоящему времени такая система сформирована и у нас, она эксплуатируется с 1 января 2016 г., сообщил Ю.Н. Макаров.

Обсуждаемая научно-техническая проблема носит комплексный характер, имеет высокую степень сложности, а значит, необходимо привлекать научный потенциал Академии наук. Однако значительная ресурсоёмкость мероприятий стала причиной сдержанного отношения министерств экономического блока к их финансированию. Каждый раз такие мероприятия декларируются в Федеральной космической программе, но затем из неё исключаются, приоритет отдаётся поддержанию орбитальной группировки. В то же время в США каждый запуск космических аппаратов сопровождается прогнозом потенциальных опасностей, связанных со столкновением с космическим мусором, имея в виду стоимость подобных объектов.

За время существования практической космонавтики на орбитах произошло более 250 разрушений вследствие взрывов и столкновений. В космосе остались тысячи отработавших космических аппаратов и ступеней ракет-носителей, а также фрагменты космической техники. В результате количество находящихся на орбите объектов, размер которых превышает 1 см, по разным оценкам, составляет от 600 до 700 тыс. Ситуация усугубляется резко возросшей в последний период интенсивностью космической деятельности, к развёртыванию готовится большое число новых орбитальных группировок. Если сейчас в околоземном космическом пространстве находится 2288 космических объектов, то в ближайшие годы их количество резко возрастёт. Эта ситуация требует наблюдения и контроля, отметил Ю.Н. Макаров. Действующая с 2016 г. система предупреждения об опасных ситуациях включает средства, размещённые не только в России (Кис-

ловодске, Благовещенске, Крыму), но и в Армении, Бразилии, ЮАР.

Упомянув, что сейчас сформировано 12 национальных проектов, а госкорпорация "Росатом" предложила 13-й проект, Ю.Н. Макаров считает, что стоит задуматься о национальном проекте в области космической деятельности. Здесь инициатором могла бы выступить госкорпорация "Роскосмос" совместно с Академией наук, имея в виду такие составляющие, как высокая энергетика в космосе и мониторинг околоземного космического пространства и дальнего космоса на предмет в том числе парирования угроз астероидно-кометного плана и техногенного засорения космического пространства.

Как сообщил директор Научно-исследовательского испытательного центра ракетно-космической обороны Минобороны России **О.Ю. Аксёнов**, при подготовке к заседанию была предпринята попытка получить усреднённую оценку динамики засорения околоземного космического пространства путём обобщения данных множества доступных источников. Причём особое внимание уделялось именно мелким фракциям космического мусора, в первую очередь потому, что в этой области Министерство обороны РФ ожидает помощь от Академии наук, Роскосмоса и других организаций, которые обладают соответствующими средствами контроля.

По словам О.Ю. Аксёнова, бросается в глаза, что при линейном нарастании крупной фракции, которую мы в состоянии регистрировать и вносить в каталог, количество мелкой фракции увеличивается экспоненциально. По данным наблюдений радаров, таких как "Haystack/НАХ", за три года (с 2006 по 2009 г.) плотность потока космического мусора на высоте 800–900 км возросла на 20–30%. Следует учитывать, что в некотором смысле мелкий мусор опаснее крупного, так как столкновения с ним всегда неожиданны и их невозможно избежать, а при космических скоростях это чревато непоправимым ущербом. Такие ситуации уже возникали, в том числе с военными космическими аппаратами, и, помимо технических проблем, имели своим следствием взаимные подозрения соперничающих сторон.

В настоящее время достигнута технологическая готовность к развёртыванию в ближнем космосе масштабных многоаппаратных космических систем коммуникационного назначения. Это проекты "Starlink" (США) и "One Web" (Великобритания). Есть такой проект — "Эфир" (правда, в начальной стадии) — и у России. Все они предполагают запуск в низкоорбитальную область (ниже 2 тыс. км) более 8 тыс. малых космических аппаратов весом 150–300 кг и дальнейшее поддержание их функционирования путём восполнения.

Это резко ускорит насыщение низкоорбитальной области как самими космическими аппаратами, так и другими техногенными объектами, которые неизбежно сопутствуют запуску. По оценкам, дополнительно привнесённая масса будет соизмерима с массой, накопленной в низкоорбитальной области за всю 61-летнюю историю космонавтики. В этих условиях, считает О.Ю. Аксёнов, важно создавать и совершенствовать отечественные инструментальные средства и методы контроля космического мусора размером менее 10 см. Поскольку частицы сантиметрового, миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов невозможно контролировать по отдельности, измерения должны позволять оценивать плотность их потоков в околоземном пространстве — от 500 до 1000 км, а телекоммуникационные системы — на высотах 1100–1300 км. В этом деле Министерство обороны РФ ждёт решительных шагов (предложений по сотрудничеству) именно от Российской академии наук.

Член Межведомственной рабочей группы по долгосрочной устойчивости космической деятельности при МИДе России **В.М. Агапов** (Институт прикладной математики РАН) выделил в качестве основы изучения техногенной засорённости эволюционную модель всей совокупности объектов космического мусора и её непрерывную верификацию. Вследствие большого разнообразия этих объектов все существующие модели являются эмпирическими. Чтобы понять, насколько адекватно они отражают действительность, используются различные измерительные средства (наземные и бортовые), и с учётом измерений производится корректировка моделей. Также речь идёт о критериальной основе оценки рисков. Критерии, которые используются для принятия решения о манёврах уклонения или ещё о каких-то действиях, опираются на имеющуюся информацию и неразрывно связаны с используемыми моделями. Поэтому в настоящее время не существует каких-то универсальных критериев, некоторые из них спорны, поскольку опираются на упрощённые гипотезы, и здесь нужна серьёзная научная проработка. Это прежде всего оценка физических свойств и классификация объектов космического мусора, поскольку нужно понять, откуда он возникает и как сократить его образование. На орбитах уже накоплено свыше 57 тыс. объектов размером более 5 см и свыше 750 тыс. объектов — более 1 см в поперечнике. Для каждого источника космического мусора, будь то разрушение отдельных объектов, разрушение материалов внешних элементов конструкции, выбросы частей шлака при работе твердотопливных двигателей, выбросы частиц теплоносителей из контура охлаждения советских ядерно-энер-

гетических установок, нужна отдельная модель. **В.М. Агапов** с сожалением отметил, что сейчас таких моделей нет, системной работы по созданию и верификации моделей индивидуальных событий и объектов, являющихся источниками космического мусора, у нас не ведётся.

По мнению академика РАН **В.Е. Фортова**, **В.М. Агапов** затронул очень важный вопрос, касающийся моделей. Ясно, что если количество мусора будет расти, то вся система может выйти на цепной режим роста, потому что каждое столкновение порождает несколько осколков, из которых в свою очередь возникает энное количество новых осколков, то есть создаётся ситуация теплового цепного взрыва. Насколько далеки мы сегодня от этого? Где та граница, за которой последует лавинообразное экспоненциальное увеличение количества мусора?

**В.М. Агапов** разъяснил: то, о чём идёт речь, применительно к проблематике космического мусора называется синдромом Кesslera. Он был предсказан в конце 1970-х годов в отношении системы Юпитера, а затем перенесён на околоземное пространство. За многие годы изучения проблематики космического мусора была выявлена очень интересная особенность: логарифмическая зависимость потока частиц от их размера на уровне 1 см характеризуется изломом, то есть тут речь идёт о совершенно разных производных. До сих пор физический смысл этого излома никто не смог объяснить. Общепринятая сейчас теория основывается на том, что этот излом — результат взаимных столкновений малых частиц, которые происходят регулярно, а концентрация малоразмерных объектов постоянно растёт. По некоторым оценкам, она уже превысила критические пороги. Но поскольку модели эмпирические, а измерений недостаточно, к этим оценкам следует подходить настороженно. Надо проверять, насколько математика и физика согласуются с реальными наблюдениями.

Затем слово было предоставлено доктору физико-математических наук **В.Д. Кузнецову**, директору Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкина РАН (ИЗМИРАН). Он обратил внимание на тот факт, что с развитием технической наземной и космической инфраструктуры всё ощутимее дают о себе знать факторы космической погоды. Толчком, послужившим веским основанием учёта этих факторов, стало событие 1989 г., когда в результате мощной геомагнитной бури, вызванной солнечной активностью, провинция Квебек, включая столицу Канады Оттаву, на 9 часов осталась без электроэнергии. По оценкам, ущерб составил от 1 до 2 млрд долл. Помимо урона, нанесённого наземным объектам, было нарушено

функционирование всех космических систем и группировок, в частности работа американской системы определения местоположения — прообраза нынешних систем GPS и ГЛОНАСС. Многие спутники были потеряны или изменили свои орбиты.

Основной источник космической погоды — солнечная активность: из Солнца непрерывно истекает солнечный ветер, происходят выбросы массы, которые генерируют частицы высоких энергий и ударные волны в межпланетной среде. Все эти процессы воздействуют на Землю и околоземное космическое пространство, вызывая многообразные явления, самые мощные и опасные из которых — геомагнитные бури, во время которых происходит генерация геомагнитно-индуцированных токов во всех проводящих системах.

Космическая инфраструктура — международные космические станции, спутники, космические системы разного назначения — подвергается серьёзным рискам со стороны космической погоды. Например, в периоды сильных магнитных бурь международная космическая станция аномально тормозит и теряет высоту быстрее обычного (на 7–10 км), что создаёт для неё угрозу. В связи с тем, что критически важные элементы наземной инфраструктуры взаимосвязаны и взаимозависимы, помимо прямых последствий космической погоды, имеют место и существенные косвенные потери. Так, серьёзный отказ одного из видов инфраструктуры страны, например связанной с поставкой электроэнергии, приведёт к каскадному отказу других видов, причём по мере интенсивного технологического развития риск для экономики и её устойчивого развития вследствие действия факторов космической погоды будет только возрастать.

Значимость угроз, связанных с космической погодой, осознаётся мировым сообществом, заметил В.Д. Кузнецов. В рабочих органах ООН создана специальная экспертная группа по космической погоде, которая разрабатывает меры по минимизации её негативных последствий на космическую деятельность. Ставится задача ведения мониторинга солнечной активности и околоземного космического пространства, получения данных о космической погоде, составления надёжных прогнозов, разработки и внедрения технических стандартов, координации действий на международном уровне.

Директор Института космических исследований РАН член-корреспондент РАН **А.А. Петрукович** дополнил выступление В.Д. Кузнецова информацией о мониторинге космической погоды, прежде всего отметив, что это комплексная задача, которая решается ежедневно, для разных отраслей и регионов. Он указал на важность фор-

мирования независимой российской системы мониторинга, несмотря на наличие международной наблюдательной сети. Сейчас в космосе с этой целью работают два спутника — "Электро" и "Метеор", осуществляющие ограниченный комплекс наблюдений. Но специалисты ждут запуска нового ионосферного комплекса, который запланирован на 2023 г., а также солнечного спутника и крупной сети Гидромета.

А.А. Петрукович напомнил, что в советский период Академия наук отвечала за "верхний этаж" мониторинга — за службу Солнца, за всё, что связано с солнечными прогнозами. Сейчас, к сожалению, из-за ведомственной неопределённости и постоянных изменений эта деятельность не осуществляется в полном объёме. Часть наблюдений на "верхних этажах" в российской системе полностью отсутствует. В то же время существует система прогноза и моделирования, в которую наши научные организации вносят большой вклад. Например, информацией прогнозного центра ИЗМИРАНа, созданного на инициативной основе, сейчас пользуются десятки потребителей из разных отраслей народного хозяйства.

Говоря о тех сегментах системы, которые пока отсутствуют, А.А. Петрукович указал прежде всего на мониторинг солнечного ветра. Как уже было сказано, основной фактор воздействия на Землю — магнитные бури, которые обусловлены даже не потоком вещества к Солнцу, а потоком магнитного поля от Солнца, который составляет примерно 1% кинетической энергии солнечного ветра. Возникает такой режим, когда магнитное поле в солнечном ветре направлено противоположно геомагнитному полю. Это направление нельзя предсказать по солнечным данным, но оно полностью определяет энергетику системы, магнито- и ионосферы. Для его мониторинга нужен спутник-монитор солнечного ветра в точке вибрации. В настоящее время действует такой американский спутник, данные с него доступны, но неизвестно, будут ли они доступны в будущем.

А.А. Петрукович также обратил внимание на мониторинг полярных районов, которые особенно чувствительны к магнитной активности, к космической погоде. В то же время Арктика — существенный сегмент российской территории, но расположить здесь во всех точках станции невозможно. Единственный способ полностью наблюдать эту зону без привязки к конкретной станции — осуществлять мониторинг полярных сияний из космоса, с помощью специализированного спутника, который позволяет установить и состояние ионосферы, и изменчивость, и проходимость радиоволн практически для каждой нужной точки. Сейчас, считает А.А. Петрукович, проблема состоит в том, что в российской системе



космического мониторинга не представлены две ключевые позиции, обеспечивающие независимость, — мониторинг солнечного ветра и мониторинг авроральной зоны, имеющие важное значение с точки зрения решения как прикладных задач, связанных с гражданской обороной, так и многих фундаментальных научных задач. Создание соответствующих двух спутников может быть реализовано на базе малых космических аппаратов весом 100–200 кг. Это по силам кооперации Роскосмоса, РАН и Минобрнауки России.

О последствиях, которые возникают при входе космических объектов в атмосферу Земли, говорила кандидат физико-математических наук **О.П. Попова** (Институт динамики геосфер РАН). Такие последствия определяются параметрами космического объекта: не только его размером и скоростью, но и углом входа, углом наклона его траектории к поверхности Земли и веществом, из которого оно состоит. Тела одного и того же размера, движущиеся с той же скоростью, состоящие из одного и того же вещества, при падении могут привести как к образованию кратера, так и полностью разрушиться в атмосфере Земли и вызвать возникновение ударной волны теплового излучения.

К неблагоприятным последствиям относятся прежде всего ударная волна и тепловое излучение, вызывающее пожары и ожоги. Эти эффекты наиболее характерны для входа в атмосферу малых космических объектов, то есть тел размером 20–50 м, типа челябинского или тунгусского тела. Такие тела могут приводить к возникновению сильных ионосферных возмущений, более крупные — к образованию кратеров и цунами. Помимо ударной волны и теплового воздействия, важным является формирование масштабной возмущённой области в атмосфере и ионосфере.

Как оцениваются последствия? Раньше пользовались ударно-взрывной аналогией, в последние годы была проведена комплексная оценка последствий для тел в широком диапазоне размеров, углов входа, скоростей и состава на основе развитых специализированных математических моделей. Поскольку в лаборатории моделировать последствия невозможно, используется численное моделирование, которое требует больших временных затрат. Поэтому исследователи предпринимают попытки построения интерпретационных формул, которые экономят время на оценку последствий, когда получены первые сведения о космическом объекте. Этот инструмент позволяет предложить оптимальную стратегию противодействия, заключила О.П. Попова.

Академик РАН **О.И. Орлов** отметил, что в выступлении Б.М. Шустова обозначена роль биологических рисков в системе космических угроз.

Особое значение придаётся сейчас возможности попадания на Землю биологических объектов, микроорганизмов из космоса. В ряде экспериментов, в частности в экспериментах "Биориск" и "ЭкзоМарс", показано, что различные живые формы прекрасно переносят экспонирование в условиях открытого космоса и выживают. В настоящее время в рамках эксперимента "Тест" на борту МКС подтверждено, что некоторые формы жизни способны существовать в космической пыли на внешней обшивке станции. А благодаря проекту "Бион" удалось доказать, что при определённых условиях некоторые формы микроорганизмов могут переносить прохождение через плотные слои атмосферы и таким образом попадать на Землю.

Надо сказать, что этой серьёзной проблеме уделяется достаточно большое внимание на международном уровне. Разработана целая система мероприятий по предупреждению попадания биологических объектов на Землю при проведении межпланетных экспедиций. В нашей стране эту работу курирует Совет РАН по космосу, в рамках которого создана межведомственная экспертная рабочая группа по планетарной защите, а применительно к проекту "ЭкзоМарс" идёт практическая работа по обеспечению условий планетарной биологической защиты.

**О.И. Орлов** обратил внимание на ещё один не менее важный аспект проблемы. Дело в том, что экспонирование в условиях космического пространства способствует изменению свойств микроорганизмов, они становятся более активными, выживают наиболее агрессивные штаммы. Повышается устойчивость микроорганизмов к антибиотикам, противогрибковым препаратам, изменяется механизм переноса генетического материала и условия деления микроорганизмов в более активную сторону, усиливается устойчивость к повреждающим факторам, например ультрафиолетовому облучению. И это непростая проблема. Огромное количество микроорганизмов населяют сегодня Международную космическую станцию, а значит, возникает вероятность модификаций: различные источники микрофлоры, взаимодействуя и модифицируясь, могут представлять угрозу для станции и для человека. **О.И. Орлов** подчеркнул, что многие факторы, действующие при полётах за пределами магнитосферы Земли (изменённые радиационные условия и условия микрогравитации, гипомагнитная среда), пока не исследовались, можно только предполагать, какие здесь могут возникать последствия.

Озабоченность МЧС России в связи с космическими угрозами выразил кандидат технических наук **М.И. Савельев** (Всероссийский НИИ по проблемам гражданской обороны и чрез-

вычайных ситуаций МЧС России). Он отметил крайнюю заинтересованность МЧС России в поддержании на должном уровне орбитальной группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли, защиты её от воздействия космического мусора, а также в решении проблем защиты населения и территории страны в условиях астероидно-кометной опасности.

МЧС России обрело определённый опыт ликвидации последствий чрезвычайной ситуации космического происхождения в связи с челябинским событием 2013 г., которое было признано чрезвычайной ситуацией федерального уровня. Это событие сопровождалось мощным взрывом, который по разрушительному потенциалу сопоставим с энергией ядерного взрыва от 350 до 500 кт. Полоса поражения от ударной волны составила свыше 130 км в длину и 50 км в ширину. Было повреждено или разрушено более 7 тыс. зданий, медицинская помощь оказана 1600 пострадавшим, в том числе госпитализировано 38 человек. Материальный ущерб превысил 1 млрд руб.

С этого момента проблема астероидно-кометной опасности стала предметом пристального внимания МЧС России, нашла своё отражение в Федеральной космической программе на 2016–2021 гг. По инициативе министерства на основе консолидации усилий институтов РАН, других научных учреждений в 2014–2015 гг. была разработана информационная аналитическая система мониторинга опасных небесных тел и планирования противодействия астероидно-кометной опасности. В результате подготовлен программный комплекс по исследованию эволюции опасных небесных тел, визуализации изменения их орбит, оценки вероятности опасных сближений и падения астероидов на Землю. Работа выполнена научным коллективом в составе представителей Института астрономии РАН, Института динамики геосфер РАН, Института радиотехники, электроники и автоматики РАН, НИУ "Высшая школа экономики".

Исследования по данной теме показали, что астероидно-кометная опасность относится к наукоёмким проблемам, требующим фундаментальных поисков и крупных финансовых затрат, что не по силам любому отдельно взятому ведомству. Необходима консолидация усилий и принятие федеральной программы по космическим угрозам, считает М.И. Савельев.

Академик РАН **А.О. Глико** согласился с В.Е. Фортовым в том, что прямое попадание осколков метеоритов — явление очень редкое. Непонятно, как следует противостоять последствиям солнечного ветра и магнитных бурь — их можно только наблюдать. А вот космический мусор —

реальная проблема, которой действительно нужно заниматься. Специалисты Отделения наук о Земле РАН хорошо умеют моделировать подобные явления. Но если говорить об эффективных методах парирования угроз, то институты отделения этим не занимаются.

Говоря об астероидно-кометной опасности, директор Института прикладной астрономии РАН кандидат физико-математических наук **Д.В. Иванов** отметил, что в возглавляемом им институте ведётся регулярная работа по определению и уточнению орбит тел солнечной системы, в том числе сближающихся с Землёй. Разработаны и реализованы оригинальные методики оценки вероятности и последствий столкновений, выполняется полный цикл наблюдений, обработки и анализа результатов.

Наиболее точный метод обнаружения и сбора информации об объектах, сближающихся с Землёй, — радиолокация. В настоящее время в мире на постоянной основе действуют только два радиолокатора, в США реализуется государственная программа поддержки таких наблюдений, и 32-метровый телескоп Института прикладной астрономии РАН "Квазар-КВО" периодически участвует в этой работе. 72-метровый планетный локалатор-антенна в Голдстоуне излучает сигнал, а российский радиотелескоп его принимает. С 2015 г. получены сигналы от восьми астероидов. Беда в том, что все эти наблюдения полностью зависят от доброй воли американской стороны. Чтобы организовать в России независимые наблюдения, необходимо создать планетный локалатор с характеристиками, схожими с американским аналогом. Д.В. Иванов считает нужным подготовить обращение в Министерство обороны РФ об организации и проведении радиолокационных наблюдений околоземных объектов на радиотелескопах комплекса "Квазар-КВО", а в качестве локалаторов использовать радиотелескопы "РТ-70" Министерства обороны РФ.

Руководитель рабочей группы при Президенте РФ по анализу рисков и проблем безопасности, которая была создана после катастрофы на Чернобыльской АЭС, член-корреспондент РАН **Н.А. Махутов** считает, что обсуждаемая проблема представляет интерес для Академии наук в двух аспектах. С одной стороны, это углублённый анализ того, что происходит в космосе и какие возникают чрезвычайные ситуации, с другой стороны, это вопрос о том, что необходимо предпринять, чтобы минимизировать соответствующие риски.

По мнению Н.А. Махутова, проблема защиты от космических угроз, имеющая самостоятельное значение, должна быть объединена с проблемой защиты от земных угроз, включая и военные угрозы, и угрозы цунами, землетрясений,



радиоактивных волн. И только Академия наук может ставить интегральную задачу о стратегических рисках на Земле, возникающих по разным причинам. Н.А. Махутов напомнил, что вопрос о создании системы противодействия разнообразным рискам и угрозам рассматривался 15 лет назад, когда академик Д.Е. Охочимский выступил с замечательным докладом, в котором утверждалось, что Советский Союз был способен вывести на космические орбиты около шести спутников, предназначенных для обеспечения устойчивого космического мониторинга. И в академии такого рода работы нужно продолжить, имея в виду фундаментальный подход к глобальным угрозам и рискам, в том числе космическим, но в первую очередь военным.

Взявший слово академик РАН Б.Н. Четверушкин обратил внимание на необходимость компьютер-

ной обработки данных и математического моделирования. По его мнению, средства защиты сейчас можно найти за счёт моделирования, как это делается в некоторых военных приложениях.

Подводя итоги заседания, президент РАН академик А.М. Сергеев обобщил прозвучавшие предложения. Он считает, что следует обсудить с Роскосмосом возможность такой инициативы, как формирование самостоятельной программы, посвящённой космическим угрозам. Это серьёзная инициатива, и она должна быть всесторонне изучена.

*Материалы обсуждения подготовила к печати*  
Г.А. ЗАЙКИНА,  
кандидат философских наук,  
журнал "Вестник Российской академии наук"  
galzaikina@yandex.ru

## THE ROLE OF SCIENCE IN THE STUDY OF AND RESPONSE TO SPACE THREATS

© 2019 B.M. Shustov

*Institute of Astronomy RAS, Moscow, Russia*

Received 04.03.2019

Revised version received 20.03.2019

Accepted 16.04.2019

During the second half of the 20th century and the beginning of the 21st century, space hazards multiplied, the most urgent of which is space debris. Professionals working in space are exposed to this hazard daily and are aware of it as a problem. Furthermore, increasing attention is being paid to the unpredictable behavior of the Sun, which produces the so-called space weather. The asteroid-comet hazard is considered as potentially having the most catastrophic consequences. No manifestations of biological hazard have yet been observed, although as space activities develop, it is becoming increasingly important. The appropriate time scale for astrophysical hazards is many millions of years, so from a practical perspective, they have no importance. This article briefly describes the main types of space hazards. The author analyzes the results of research and practical work in the field, both worldwide and specifically in Russia. Comparative analysis leads to the clear conclusion that a national program must be developed for the study of space hazards and to respond to space threats. This article is based on a report made by the author at the meeting of the Presidium of the Russian Academy of Sciences (RAS) on January 15, 2019.

*Keywords:* space threats, space debris, space weather, asteroid-comet hazard, parrying space threats.

## ОСНОВЫ ТЕОРИИ ДОБАВОЧНОГО УСЛОЖНЕНИЯ В БИОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

© 2019 г. С.Л. Шварцев

*Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики  
им. А.А. Трофимука СО РАН, Томск, Россия*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия*

*E-mail: tomsk@ipgg.sbras.ru*

Поступила в редакцию 15.11.2018 г.

Поступила после доработки 15.11.2018 г.

Принята к публикации 28.04.2019 г.

Проблема эволюции окружающего мира относится к числу наиболее важных для науки в целом и волнует учёных в течение нескольких тысячелетий. Одна из причин этого, по мнению автора статьи, заключается в том, что наукой до сих пор не раскрыта созидательная функция воды в формировании внешних оболочек Земли, которая определяется её антагонистическим противоречием с базальтами, а позже и с простыми продуктами фотосинтеза. Неравновесность — главный фактор всех эволюционных процессов, обеспечивающий создание равновесных со средой новых образований, включая и более сложные. Но круговорот воды, определяющий поступление новых её порций в систему, непрерывно, нарушая равновесие, производит дополнительное усложнение, приводящее к постоянному ускорению эволюции системы В.И. Вернадского "вода—порода—газ—органическое вещество (живое и неживое)". Вода обеспечивает единство поведения косной и живой материи.

**Ключевые слова:** эволюция, добавочное усложнение, равновесно-неравновесное состояние, фотосинтез, антагонистическое противоречие, образование сложностей.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-5873898800-810>

После долгих исканий, колебаний и сомнений наука, наконец, установила, что окружающий нас мир непрерывно не только меняется, но и постоянно усложняется и ускоряется: эволюция природы стала научным фактом [1]. Но почему окружающий мир меняется? Как идёт его усложнение? Какие силы определяют его ход? Как возникла жизнь? Эти и многие другие вопросы не дают покоя учёным уже в течение нескольких тысячелетий. Ещё древние мыслители Эллады пытались найти на них ответы. Так были высказаны две

разные гипотезы о природе главной субстанции, которая создаёт окружающий мир: Фалес из Милета считал началом материальной сущности всех вещей воду, а Гераклит из Эфеса ту же функцию отводил огню. С тех пор эти две точки зрения существуют, не находя примирения. Не вдаваясь в исторические перипетии их противостояния, отметим лишь, что достигнутые к настоящему времени результаты трудно назвать удовлетворительными, поскольку до сих пор эволюция признаётся только в живой материи, её начало неизвестно, а в качестве механизма усложнения рассматривается исключительно естественный отбор [1]. Само понятие "эволюция" не является строгим и имеет много значений [2]. Мы понимаем под ним не любое, но такое изменение системы, которое требует усложнения происходящих в ней процессов во времени под действием сил (причин) внутреннего взаимодействия составляющих её элементов независимо от внешних факторов.

Главная причина неудовлетворительного объяснения наукой механизмов эволюции кроется, по нашему мнению, в том, что до сих пор не по-



ШВАРЦЕВ Степан Львович — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Томского филиала ИНГГ им. А.А. Трофимука СО РАН, профессор ТПУ.

нята ведущая созидательная роль воды в эволюционных процессах. Исторически сложилось, что взаимодействие воды с эндогенными алюмосиликатами практически не учитывалось, поскольку такие минералы малорастворимы и якобы не могут оказывать существенного влияния на состав подземных вод. Вторичные минералы, которые всё-таки иногда образуются в результате гидролиза эндогенных алюмосиликатов, формируются, как считалось, не через водный раствор, а путём твердофазного превращения одного исходного минерала в другой. Господствовали две основные гипотезы такого превращения — диффузионная и кинетическая, а также многие их разновидности [3, 4]. В настоящее время, во-первых, получены принципиально новые данные, демонстрирующие, что все вторичные минералы всегда равновесны с природными водными растворами, в которых они образовались, а первичные, как правило, нет [5, 6]. Во-вторых, экспериментально установлено, что все вторичные минералы образуются из водного раствора, а взаимодействие воды с эндогенными алюмосиликатами происходит по механизму двойной реакции: растворения и осаждения [7–12].

Как оказалось, система вода—алюмосиликаты является внутренне противоречивой, равновесно-неравновесной, способной к непрерывному геологически длительному взаимодействию с образованием целой гаммы вторичных минералов и многочисленных геохимических типов вод. При этом противоречивое состояние рассматриваемой системы — фундаментальное её свойство. Оно отражает её внутреннюю сущность, определяемую особенностями строения воды и алюмосиликатов. По этой причине в природе нет сил, которые могли бы остановить это взаимодействие [13].

Тем самым впервые в геологической науке выявлен *механизм внутренней эволюции в неживой материи, независимый от каких-либо внешних факторов. Установлено, что система вода—порода относится к типу диссипативных, развивается вдали от равновесия, является нелинейной, необратимой и всегда способна неслучайно, а в соответствии со строгими законами термодинамики непрерывно формировать принципиально новые минеральные соединения, совершенно непохожие на исходные, растворяемые водой, включая и более сложные* [5, 6, 13–15].

Ещё одно необычное свойство воды — постоянная подвижность — позволяет ей участвовать в круговоротах, и поэтому в одну и ту же горную породу в одном и том же месте постоянно поступают новые порции воды из внешней среды. Попадая в горную породу, вода сохраняет близкий исходный состав, а порода, в которую она поступает, постепенно меняется. Таким образом, эво-

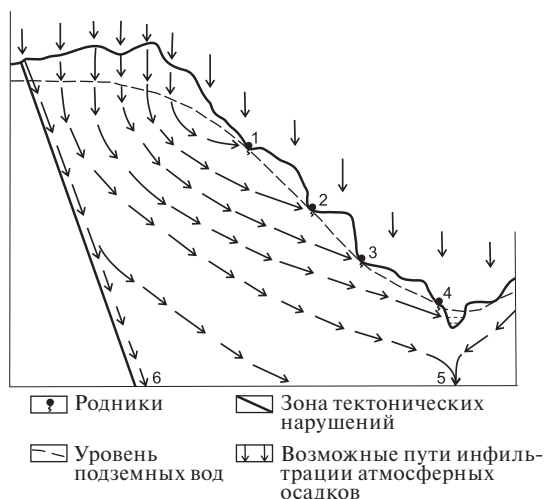
люция взаимодействия воды с алюмосиликатными породами складывается из двух составляющих. Во-первых, вода, попадая, например, в базальты и перемещаясь по ним, взаимодействует с одними и теми же минералами и тем не менее меняет свой состав и состав образуемых ею вторичных минералов. Во-вторых, вода с течением времени поступает в постоянно меняющуюся породу и тем самым тоже меняет свои параметры и тип образуемых ею вторичных минералов. Рассмотрим оба процесса более подробно.

**Механизмы взаимодействия воды с эндогенными породами одного состава** достаточно подробно рассмотрены в предыдущих публикациях [5, 6, 13–16], поэтому в данной статье мы изложим этот вопрос тезисно. Равновесно-неравновесное состояние системы вода—алюмосиликаты обеспечивает непрерывное растворение одних минералов и образование других. Состав формирующихся вторичных минералов меняется в строгой парагенетической ассоциации с изменением состава воды по строгим законам термодинамики. Следовательно, система способна к непрерывному, геологически длительному взаимодействию с образованием широкого спектра вторичных минералов и многочисленных геохимических типов воды. Другими словами, она способна к длительной геологической эволюции [14, 17].

Более того, оказалось, что имеются эндогенные алюмосиликаты, с которыми подземные воды никогда не приходят в равновесие. Речь идёт об алюмосиликатах Ca, Mg и Fe, формирующих базальты. Поступающие из этих алюмосиликатов химические элементы связываются образующимися вторичными минералами иного состава, среди которых гидроксиды, карбонаты, глины, цеолиты, хлориты, слюды и т. д., выступающими геохимическими барьерами на пути установления равновесия подземных вод с эндогенными минералами. Следовательно, вода никогда не приходит в равновесие с базальтами, всегда их растворяет и формирует разнообразные вторичные минералы по механизму гидролиза, то есть эволюция системы вода—базальты является геологически вечной.

Непрерывно растворяя базальтовые породы и накапливая в растворе разные элементы, вода обеспечивает последовательное их осаждение в виде серии новых минералов, что ведёт к непрерывному изменению состава раствора, а значит, и состава вторичных образований. При этом каждый минерал формируется из водного раствора строго определённого химического состава, который, меняясь во времени, обуславливает смену одного гидрогенно-минерального комплекса другим. Тем самым мы приходим к пониманию ведущей роли *фактора времени*, ответственного





**Рис. 1.** Схема возможных путей движения инфильтрационных вод в базальтах

Цифрами обозначены некоторые варианты, описанные в тексте

за эволюцию системы вода—базальт: с течением времени состав воды и образуемый ею минеральный комплекс непрерывно меняются и усложняются, хотя исходная порода остаётся прежней [18].

Как это может происходить в реальных условиях, показано на схеме типового движения подземных вод на какой-либо территории с расчленённым рельефом (рис. 1). Представим себе горный массив, сложенный молодыми, достаточно пористыми базальтами, которые не покрыты никакими вторичными продуктами, то есть атмосферные осадки начинают взаимодействие непосредственно с базальтами. Поскольку рельеф, пористость, трещиноватость и другие параметры природных базальтов всегда неравномерны, каждая порция атмосферных осадков оказывается на разных путях движения. Часть дождевой воды проходит короткий путь и быстро попадает на дневную поверхность (см. рис. 1, родник 1), другие её доли совершают более длинные пути и выходят на поверхность в более низких местах (родники 2, 3, 4). Ещё одна часть дождевой воды оказывается на глубине, превышающей местный базис эрозии, и выходит на дневную поверхность значительно ниже по течению реки (путь 5). Наконец, часть атмосферных осадков может попасть в зону глубинного проницаемого тектонического разлома, мигрировать на большую глубину и, нагреваясь, формировать термальные воды, родники которых будут встречаться достаточно далеко от области питания, иногда даже в соседнем регионе (путь 6).

Разные траектории движения воды предполагают разное время взаимодействия с базальтами, а значит, формирование разных вторичных минералов на каждом отрезке движения воды

и различного её состава [14, 18]. На первых этапах взаимодействия образуются одни и те же вторичные минералы, например, гиббсит, гётит или каолинит. Если после этого вода покинет горную породу, другие вторичные минералы формироваться не будут, эволюция раствора закончится (рис. 1, родник 1). Но если вода в породах движется по другой трассе и эволюция продолжится, то чем более длительным будет взаимодействие, тем более поздние стадии эволюции будут иметь место — вплоть до образования гранитов [6, 14, 18].

Таким образом, вода, растворяя один и тот же тип исходной породы, способна обеспечить возникновение разных вторичных минералов, состав которых на разных глубинах, как и состав воды, неодинаков: чем глубже проникает вода, тем выше её солёность и тем более поздние стадии эволюции проходит система вода—порода, становясь сложнее. Последнее подтверждено многочисленными гидрогеохимическими [19] и литологическими данными [20]. Именно этим объясняется наличие разных типов гидрогеохимической зональности в земной коре: высотной, горизонтальной и вертикальной [21]. Но рассмотренные процессы не исчерпывают все механизмы усложнения системы вода—порода.

**Механизмы добавочного усложнения в системе вода—порода.** Благодаря постоянному участию в круговоротах вода периодически освобождается от накопленных солей в конечных бассейнах стока (озёрах, морях, океанах) и, перемещаясь на континент, начинает взаимодействие с горными породами с первых его этапов. Поскольку такой круговорот геологически длителен, то с течением времени базальты покрываются продуктами их переработки, и атмосферные осадки попадают не в базальты, а в коры их выветривания. Процесс взаимодействия воды с породой получает как бы обратное направление: если раньше вода взаимодействовала с минералами одного состава, то теперь система усложнилась и вода, двигаясь по тем же или близким траекториям (см. рис. 1), взаимодействует с разными вторичными минералами. Так что же меняется в этом случае?

Чтобы ответить на поставленный непростой вопрос, выберем перечень наиболее часто формируемых водой вторичных минералов, исходя из процессов, представленных на рисунке 1. Как нами показано ранее, взаимодействие воды с базальтами по механизму "растворение—осаждение" [7—12] приводит вначале к осаждению наиболее труднорастворимых минералов, которые постепенно сменяются всё более растворимыми [6, 13, 14, 18]. Поэтому, используя константы растворимости, можно составить ряд последовательности осаждения вторичных минералов [22]. Последовательность образования вторичных ми-

нералов несколько отличается в зависимости от химического типа воды [17, 18], но для упрощения возьмём наиболее распространённый вариант, характерный для нормальной температуры (для термальных вод ситуация будет несколько иной) [23]. Полученная последовательность образования вторичных минералов в процессе гидролиза базальтов показана на рисунке 2.

Поскольку поступающие из атмосферы дождевые воды неравновесны не только с эндогенными минералами, но и с образованными вторичными продуктами, они растворяют вначале вторичные продукты и, как показывают результаты наших исследований, достаточно быстро достигают с ними равновесия [22]. Поэтому к залегающим глубже невыветрелым базальтам поступает вода, отличающаяся по составу от атмосферных осадков, содержащая элементы, которые получены в результате растворения более ранних вторичных минералов. Данное обстоятельство оказывает огромное влияние на характер эволюции системы вода–порода, поскольку в этом случае в рассматриваемой системе обеспечивается образование вторичных минералов не первой, а более поздней стадии её эволюции. Такова суть процесса дополнительного усложнения: появление вторичных минералов обеспечивает продвижение эволюции в материнской системе на новые этапы. Поясним это с помощью рисунка 2.

При появлении вторичной минеральной фазы взаимодействие воды с теми же базальтами начинается не с точки А, как это было раньше, а с какой-то следующей точки, которая определяется характером равновесия, достигнутого водой при растворении вторичных минералов, например, точки В. В этом случае вода, предварительно проходя слой монтмориллонита, устанавливает с ним равновесие и, достигая поверхности базальтов, формирует не гиббсит или гётит, а дафнит, сидерит, биотит и др. Если атмосферные осадки выпадают, скажем, на альбитовые пески (см. рис. 2, точка С), достигнув поверхности базальтов, они будут формировать минералы ещё более поздних эволюционных стадий, то есть мусковит, флюорит, гипс и др.

Фактическая картина оказывается ещё более сложной, поскольку с глубиной растёт температура, увеличивается рН вод, уменьшается Eh, меняется парциальное давление растворённых газов, изменяется валентность многих элементов, идёт процесс восстановления сульфат-ионов и т. д. Для нас в данном случае важно только то, что вода, растворяя предварительно вторичные минералы, переводит систему на более поздние стадии её эволюции [10, 13, 16]. Тем самым мы выявляем ранее неизвестное явление. Его суть заключается в следующем: *в любой материнской си-*

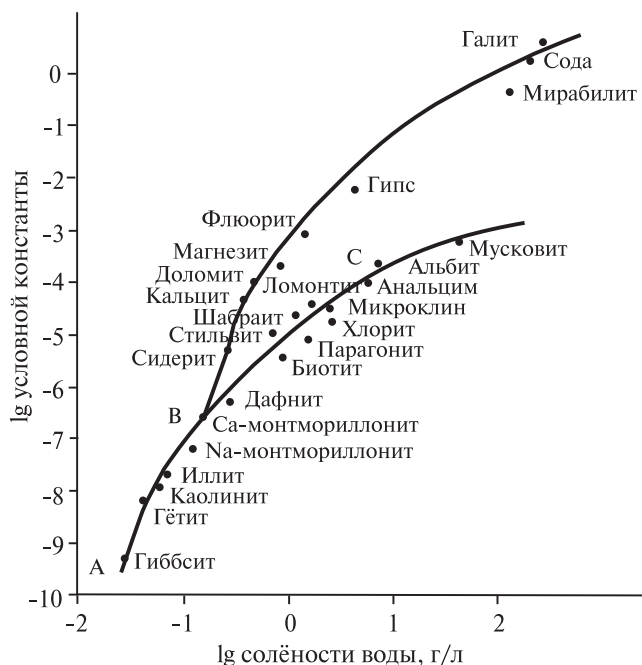


Рис. 2. Ориентировочная последовательность вторичного минералообразования

Условная константа — константа реакции, делённая на число активных компонентов, которые участвуют в реакции [22].

стеме, включающей воду и горную породу (например, вода–базальты) и формирующей дочерние системы (вода–вторичный минерал), растворение новыми порциями воды вторичных минералов по мере увеличения их числа обеспечивает получение системой непрерывного добавочного усложнения, которое в итоге приводит к переходу материнской системы на новый этап взаимодействия. Так становится возможной прогрессивная эволюция системы в целом.

Добавочное усложнение даже в неживой системе обусловлено тем, что формирующаяся дочерняя система не изолируется от материнской, а с новыми порциями воды включается в начавшийся ранее эволюционный процесс материнской системы. С течением времени число вторичных минералов и геохимических типов воды, ассоциацию которых мы назвали гидрогенно-минеральным комплексом [22], непрерывно растёт, обеспечивая постоянное добавочное усложнение и увеличивая ускорение эволюции системы [5, 14, 16]. Следовательно, уже в простой системе механизмы усложнения не только имеют место, но и носят достаточно сложный характер.

Из рисунка 3 видно, как после образования вторичных минералов атмосферные осадки вначале взаимодействуют с ними и только позже — с базальтами. Вода достигает поверхности базальтов после получения некоторого количества химических элементов, поэтому её солёность становится выше: при отсутствии вторичных минералов

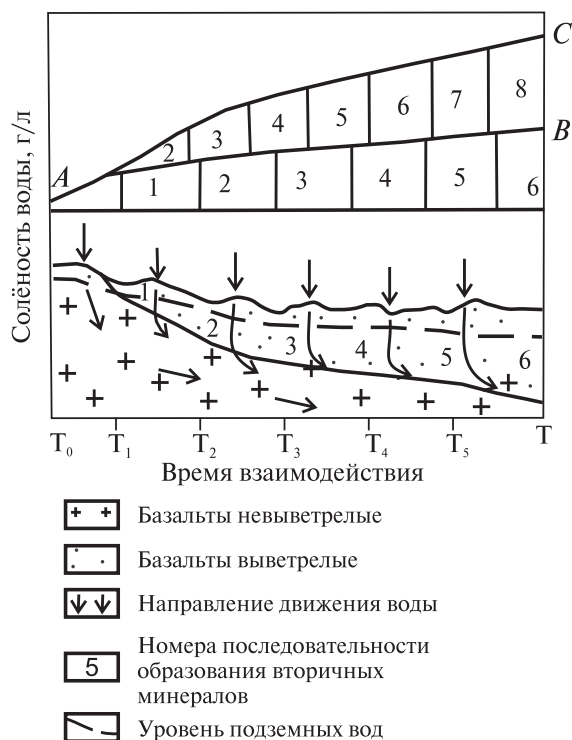
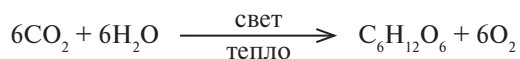


Рис. 3. Схематическое изображение добавочного усложнения системы вода—алюмосиликаты

она росла бы по линии АВ, а при их наличии — по линии АС. Разность этих двух линий солёности и составляет дополнительное усложнение раствора. На рисунке отражено и ещё одно важное явление, сопровождающее усложнение системы, — ускорение процесса эволюции: за одно и то же время, например Т<sub>2</sub>, в первом случае образуется только один вторичный минерал, а во втором (при наличии вторичных минералов) — два. Рисунок показывает, что в дальнейшем ускорение эволюции только возрастает (подробно данный механизм рассмотрен в [5]). Но на этом ни усложнение, ни ускорение процессов эволюции не только не заканчиваются, а лишь начинаются.

**Фотосинтез и добавочное усложнение.** Появление на нашей планете примерно 2,5 млрд лет назад фотосинтеза обеспечило принципиально новый этап развития неживой материи. Если раньше Н<sub>2</sub>О и СО<sub>2</sub> совместно создавали только вторичные гидрогенно-минеральные комплексы, то фотосинтез положил начало образованию углеводов и О<sub>2</sub> по реакции



Важно подчеркнуть, что фотосинтез коренным образом изменил геохимическую ситуацию на Земле: появление О<sub>2</sub> и простых углеводов обеспечило серьёзную трансформацию разных геохимических сред, созданных эволюцией систе-

мы вода—порода—газ, в сторону их усложнения и окисления. Усложнение началось с водного раствора, в котором появились органические соединения и кислород, открывший эру окислительных процессов. Но наиболее важным было именно появление механизма созидания принципиально новых органических соединений.

Фотосинтез возможен только при усвоении 112 ккал/моль тепловой энергии, источником которой могло быть Солнце, но её преобразование в химическую энергию напрямую невозможно. Поэтому механизм фотосинтеза до сих пор до конца не изучен [24]. Различают световую и темновую стадии фотосинтеза. Нам представляется, что на первых этапах эволюции нашей планеты, когда ещё не было растений, фотосинтез мог быть только темновым и протекал в тонких порах глин. Почему именно глин? Дело в том, что в тонких капиллярах глинистых минералов вода обладает свойствами, отличными от свойств свободной воды: происходят существенное уменьшение диэлектрической проницаемости, увеличение вязкости, рост коэффициента самодиффузии, снижение температуры замерзания вплоть до  $-70^\circ\text{C}$ , увеличение плотности до  $1,2\text{--}1,4\text{ г/см}^3$ , а главное, свободная энергия такой воды значительно выше, чем воды в объёме [25].

Обобщая экспериментальные данные по свойствам волосных вод, известный специалист по физике воды Ю.П. Рассадкин пишет: "В малых порах молекулы воды, вступая в валентные связи с атомами и молекулами твёрдых веществ, образуют достаточно прочные соединения, которые вызывают сильную поляризацию окружающих молекул воды, увеличение их дипольного момента и, как следствие, перестройку жидкокристаллической структуры, существенное увеличение электрического поля, возрастание внутренней энергии и в конечном счёте запасённой колебательной энергии" [26, с. 131, 132].

Ещё более поразительные данные появились совсем недавно: в очень тонких порах размером  $<1\text{ нм}$ , близким к размеру молекулы воды, эта молекула коренным образом меняет свои свойства. Переходя в сильно "стеснённых" условиях в особое квантовое состояние, вода теряет дипольный момент, поскольку ионы водорода в этом случае располагаются не по одну сторону атома кислорода, как это наблюдается в обычной воде, а окружают его со всех сторон. Такая необычная вода теряет способность растворять минералы, хотя с ними взаимодействует [27].

Для воды тонких пор глин характерна высокая энергия, обеспечивающая рост не только константы её диссоциации, но и константы её разложения. Энергия образования такой воды достигает  $37,7\text{ ккал/моль}$  [25]. Кроме того, необ-



ходимо учитывать, что в условиях ранней Земли, когда на планете не было свободного кислорода, его парциальное давление было очень низким, а давление водорода ( $P_{H_2}$ ), наоборот, высоким, тем более в тонких капиллярах.

Из всего сказанного очевидно, что глины, связывая в процессе своего формирования большое количество воды, одновременно *переводят её на более высокий энергетический уровень и поэтому становятся носителями огромных запасов аккумулированной солнечной энергии*. Тем самым растворение базальтов и формирование глин на нашей планете положили начало новому механизму усвоения солнечной энергии — не путём нагревания тел, а путём перевода воды в тонких порах на более высокий энергетический уровень.

Вполне вероятно, что в воде тонких пор свободная и запасённая колебательная энергия настолько велика, что реакция фотосинтеза становится энергетически выгодной. Если это так, то мы находим ответ на вопрос, почему фотосинтез начался только через 2 млрд лет, а не сразу после образования планеты: потому что на планете ранее не было в достаточном количестве глин, а значит, и воды с высокой энергией. Другими словами, не было достаточно мощных толщ осадочных пород. Следовательно, образовавшиеся углеводы и свободный кислород могли на первых этапах фотосинтеза формироваться в условиях равновесия в тонких плёнках воды пор глинистых минералов. Но затем они мигрировали из таких пор в разные по своему геохимическому типу свободные воды, с которыми простые углеводы не были равновесными. Растворяясь в обычной воде, такие легко растворимые соединения встречались в ней с другими элементами, накопленными за счёт растворения базальтов и газов атмосферы. В числе таких элементов были N, P, S, K, Ca, Fe, Mg, Si и др. Всё это обеспечивало усложнение раствора и образование ранее отсутствовавших в данных средах органических и органо-минеральных соединений.

Среди новых образований могли быть аминокислоты, из которых строятся все белки, нуклеотиды, из которых синтезируются нуклеиновые кислоты, включая дезоксирибонуклеиновые (ДНК) и рибонуклеиновые (РНК), различные моно- и олигосахариды, липиды и, конечно, аденозинтрифосфаты (АТФ) и гуанозинтрифосфаты (GTP), разные ферменты и т. д. Никаких принципиальных запретов, делающих невозможным образование всех перечисленных органических соединений, не существовало. Более того, специалисты по молекулярной биологии считают, что названные органические соединения "в растениях, у подавляющего большинства микроорганизмов, в значительном числе случаев и у животных должны

синтезироваться из простых предшественников. Как правило, такие синтезы проходят в несколько стадий и, следовательно, в живых организмах должны в тех или иных количествах присутствовать все промежуточные соединения этих биосинтетических процессов" [28, с. 59].

Важно подчеркнуть, что образованные в результате фотосинтеза простые углеводы оказывались в разных по составу типах природных вод, которые были сформированы до появления фотосинтеза. Поскольку возникновение жидкой воды на Земле датируется не позднее 4,4 млрд лет [29], её взаимодействие с базальтами до фотосинтеза продолжалось около 2 млрд лет. Естественно, что за такой период времени на планете появились разные геохимические типы вод. Это разнообразие вод и послужило основанием для возникновения изначально разных органических соединений, то есть уже сразу после зарождения фотосинтеза на планете в принципе существовали условия, способствовавшие разнообразию формирующихся органических соединений.

Таким образом, появление простых углеводов в результате фотосинтеза положило начало эволюции новой системы — вода—органическое вещество, которая, однако, не изолировалась от системы вода—базальты, а, наоборот, возникла, развивалась и усложнялась на базе и в созданных ею условиях. Более того, без этой системы было невозможно само появление фотосинтеза. Именно наличие вторичных минеральных продуктов и разнообразной по составу воды обеспечило трансформацию простых углеводов в другие, более сложные типы органических соединений.

Итак, в обычной воде с началом фотосинтеза формируется равновесно-неравновесная система: вода неравновесна с поступающими в неё простыми углеводами и  $O_2$ , но равновесна с образующимися в этих условиях более сложными органическими веществами. Новые органические соединения возникают не только из растворённых химических элементов, но и из самих молекул воды и их производных, то есть повторяется процесс, который наблюдается уже в системе вода—базальты, с тем отличием, что в данном случае он оказывается более многокомпонентным, а его результат — образование более сложных соединений. Поэтому и в этой системе главным фактором, определяющим направленность эволюции, выступает вода [30]. Причём доля воды в формируемых органических соединениях значительно больше, чем в минеральных, и она в большей мере влияет на их строение и структуру. Во многих из них доля воды и её производных превышает по весу 50%.

Система вода—органическое вещество развивается независимо от каких-либо внешних

факторов, поскольку обладает механизмом внутренней эволюции, который обеспечивает её целостность и внутреннюю обособленность от внешней среды, хотя из неё поступает вещество и энергия [9, 10]. Благодаря наличию внутренних механизмов система самостоятельно развивается в соответствии с законами термодинамики, контролирует направленность эволюции, скорость, последовательность и стадийность образования новых вторичных продуктов, их состав, соотношение элементов в растворе и твёрдой фазе, смену одного формируемого вещества другим и т. д. Геологическая длительность и непрерывность взаимодействия, невозможность одновременно установления равновесия раствора со всеми его реагентами определяют как общность, так и специфику её эволюции по сравнению с эволюцией системы вода—базальты.

Образовавшиеся более сложные органические соединения, как и вторичные минералы, оказываются в зоне действия круговорота воды. Поэтому часть их под влиянием новых порций воды растворяется, что приводит к усложнению раствора и, соответственно, появлению механизма добавочного усложнения по той же схеме, что и в системе вода—базальты (см. рис. 3), но только на более высоком по сложности уровне. Другими словами, усложнение этой системы также обусловлено двумя процессами: постоянным растворением простых углеводов с образованием всё более сложных органических соединений и дополнительным усложнением системы за счёт растворения ранее образованных органических веществ новыми порциями воды.

К сожалению, термодинамические данные для подавляющей части органических веществ отсутствуют, и мы пока не можем рассчитать их равновесие с водным раствором. Но достаточно очевидно, что все многочисленные органические соединения появляются только в условиях равновесия с тем водным раствором, который даёт им жизнь и который пронизывает все клетки и межклеточное пространство растущего соединения. Новые порции воды частично растворяют уже образованные соединения, приводя к возникновению (по механизму добавочного усложнения) ещё более сложных. Если, например, из простых углеводов ранее были сформированы аминокислоты, то почему не могут позже сформироваться белки, которые очень похожи по составу и структуре на аминокислоты, а вслед за белками — молекулы РНК и ДНК? Ведь предела усложнению нет, и эту линию можно продолжать бесконечно.

По мере эволюции процессов взаимодействия воды с органическим веществом на каждом новом этапе вода становится всё сложнее не толь-

ко по составу, но и по своей структуре. Во всех органических веществах она всегда находится в двух состояниях — свободном (вода в объёме) и связанном (в разных формах с конкретными её молекулами или непосредственно входит в состав молекул органических веществ). Такое распределение обеспечивает свободу перехода воды из одного состояния в другое при малейших изменениях строения органических молекул. Удивительно то, что конфигурация пустот кристаллической решётки воды способна меняться в зависимости от строения молекул возникающего органического соединения, которые свободно встраиваются в эти пустоты, сохраняя способность воды строить структуры с другими органическими молекулами, участвовать в химических реакциях и т. д. Существует и более радикальное мнение по этой проблеме. Так, Ю. В. Чайковский считает, что в органических веществах "структура воды определяет пространственную структуру макромолекул и организует их взаимодействие" [31, с. 402]. Такой же подход развивает и Ю. П. Рассадкин, который, обсуждая проблему воды в белках, пишет: "Вода, находящаяся в них, участвует не только в организации их пространственной структуры, но и активно воздействует на происходящие биологические процессы" [26, с. 679]. Нам представляется, что такой подход лучше объясняет имеющиеся факты: в каждом вторичном минеральном и органическом соединении имеется вода, и чем сложнее это образование, тем больше в нём воды (например, мозг содержит 75%, а кровь — 83% воды). Естественно, что именно вода определяет структуру этих соединений. На наш взгляд, структура воды задаёт тип расположения в ней атомов других элементов по законам квантовой механики, то есть с учётом их размера, строения, заряда, ионного потенциала, типа связей и взаимодействия атомов, деформационно-возбуждённого их состояния и т. д. Нет сомнения, что в основе усложнения окружающего мира лежат фундаментальные законы наномира. Такой подход пытаются развивать и некоторые философы [32].

**Добавочное усложнение — нанofундамент прогрессивной эволюции.** Появление живых организмов многократно усложнило механизм не только биологической эволюции, но и эволюции окружающего мира в целом, поскольку система вода—живое вещество не изолирована от более ранних косных систем, включая и систему вода—порода, с которой, например, тесно взаимосвязаны растения. Возникновение ранних растений было возможно только в водном растворе, который содержал химические элементы, заимствованные в основном из горных пород и атмосферы. Эти элементы, химически

взаимодействуя с простыми углеводами, формировали разные виды растений, устойчивые в конкретных геохимических средах. Такой процесс формирования ствола и кроны деревьев продолжается и сегодня. Природная вода, захватываемая корнями растений, образует ствол, кору, сучья, листья, цветы, плоды и т. д. Изменение состава воды обеспечивается опять же двумя механизмами: образованием в процессе фотосинтеза простых углеводов и превращением их в растворе в более сложные органические соединения, формирующие перечисленные выше части растения. Но имеется и ещё один механизм добавочного усложнения.

Как известно, отдельные части растений рано или поздно теряют связь с материнской системой и, отрываясь от неё, падают на землю и разлагаются. В процесс разложения вовлекаются растения и их сообщества. Мёртвые растения и их части сразу частично растворяются, образуя новые соединения, формируя лесную подстилку, разные типы почв, торф и т. д., которые начинают взаимодействовать с новыми порциями воды. Постепенно растворяясь, они трансформируют состав воды, участвующей в биологическом круговороте. Такая направленность процесса — результат нового более сложного взаимодействия очередных порций воды одновременно с первичными и вторичными минералами, разными органическими веществами, газами, почвами и другими компонентами ландшафта. Растения меняются потому, что меняются все компоненты ландшафта [33].

Рост сложности приводит к порядку, самоорганизации, формированию диссипативных структур, которые в ходе своего образования аккумулируют энергию, уменьшают энтропию и поэтому способны к прогрессивной эволюции [15, 34]. Животные и человек, в отличие от растений, питаются не только водой, но и растительной и мясной пищей, которая неравновесна со средой живого организма и не может усваиваться без предварительного перевода в растворённое состояние. У животных эту функцию выполняет специальная система — желудочно-кишечный тракт. Только в растворённом состоянии ионы и молекулы поступают непосредственно в организм, у теплокровных животных — в кровь. В конечном счёте любой живой организм, подобно растениям, получает пищу только в растворённом виде, что создаёт основу развития процессов дальнейшего усложнения организма. Важно также то, что животные и люди употребляют продукты деятельности не только ранней природной воды (водоросли, травы и т. д.), но и последних стадий, которые отличаются максимальным усложнением и созданы водой сложного состава (например, мясо).

Одно из наиболее поздних и сложных образований — кровь, продукт эволюции системы вода—порода—газ—живое органическое вещество. Основа крови — вода (77–82%), в которой минеральные вещества составляют только 1,2–1,6%, а органические — 16,8–23,4%, то есть количество растворённых органических соединений превышает 200 г/л [35]. В такой сложной биохимической среде формируются ещё более сложные образования — органы животных и человека (сердце, лёгкие, почки, печень, кожа, мышцы, кости, мозг и т. д.), содержащие, кроме костей и жира, 75–83% воды. Дополнительное усложнение и здесь играет ведущую роль.

Таким образом, в организме человека непрерывно протекают тысячи реакций синтеза сложных органических молекул из более простых предшественников, поступающих из внешней среды: подавляющая часть минеральных предшественников — с водой, органических — с водой и твёрдой пищей. По мере переваривания пищи происходит разложение сложных химических соединений на более простые: белки разлагаются на аминокислоты, жиры — на жирные кислоты и глицерин, сложные углеводы — на моносахариды и т. д. Это необходимо для того, чтобы более простые соединения могли в крови взаимодействовать с уже имеющимися соединениями. Всё, что не может быть переварено, выбрасывается наружу во внешнюю среду. Поступающие в кровь дополнительные вещества ещё больше усложняют её состав, обеспечивая новый этап усложнения, а значит, и синтеза органов человека. Ведь организм человека формируется постоянно в течение всей жизни. Например, волосы и ногти растут непрерывно, эритроциты живут только 2–3 месяца, клетки кожи — всего 7 дней.

Чрезвычайно важно, что в условиях ограниченного объёма в местах, расположенных близко друг к другу, возникают разные точки нуклеации, в которых достигается равновесие с разными органическими соединениями и обеспечивается их формирование. Такое возможно только в равновесно-неравновесных условиях, определяющих стабильность системы на разных её уровнях. Именно равновесие со средой (кровью) делает появляющиеся зародыши новых веществ исключительно устойчивыми, способными к длительному росту, сохранению и стабильности.

Итак, во всех главных системах (царствах) планеты — минеральной, растительной и животной — действуют одни и те же принципы эволюции и усложнения, обусловленные одними и теми же причинами и механизмами. Основным созидательным и связующим компонентом этих систем выступает вода, буквально пронизывающая все их составляющие. В условиях внутренне



противоречивого равновесно-неравновесного состояния вода непрерывно растворяет любые более простые соединения — минеральные, органические, органо-минеральные и др., с которыми она неравновесна, и, усложняясь, синтезирует принципиально новые соединения, равновесные со средой. Общность всех систем заключается и в том, что новые вторичные продукты образуются из водных растворов, хотя и принципиально разной сложности. Благодаря своим уникальным свойствам вода обеспечивает непрерывный переход эволюции из мёртвой материи в живую. Такой переход — не механическая передача функций от материнской системы к дочерней, а глубокое усложнение состава и структуры системы путём коренного преобразования всех её звеньев при сохранении механизмов усложнения.

Наличие общих принципов, механизмов и ведущих факторов эволюции живых и косных систем свидетельствует о наследовании механизмов усложнения от косной материи к живой, что обеспечивает генетическую общность живого с неживым [36]. Добавочное усложнение имеет место не только в каждой из рассмотренных выше ведущих систем окружающего мира, но и носит межсистемный характер: любая более ранняя система служит базой для усложнения последующей. Поэтому новейшая система вода—живое органическое вещество—газ опирается на все предыдущие, включая и систему вода—горная порода. Человек не ест камень, но он пьёт воду, которая содержит полученные из камня различные компоненты органических веществ, атмосферы, сложных органо-минеральных комплексов и т. д. С пищей человек также получает весь необходимый набор не просто различных химических элементов, а их сложных соединений, комплексов, сформированных в результате эволюции более ранних систем, включая белки, углеводы, липиды, витамины, нуклеиновые кислоты, ферменты. Иными словами, идёт непрерывное усложнение всех компонентов системы В.И. Вернадского [37] — воды, породы, газов, мёртвой органики и живых организмов. Тем самым создаётся дополнительный механизм эволюции каждой системы, включая и самую первую: под влиянием органического вещества формируются новые минералы, горные породы, газы и т. д.

Следовательно, глобальная эволюция обусловлена непрерывным растворением любых простых соединений, с которыми вода неравновесна, и образованием более сложных. Участие воды в круговороте обеспечивает растворение как тех, так и других, тем самым делая возможным дополнительное усложнение системы. Этот процесс бесконечен и приводит к возникновению всё более сложных систем и общему усложнению всего окружающего мира.

\* \* \*

Великая созидательная сила воды обусловлена её удивительной способностью непрерывно растворять одни соединения и создавать новые, более сложные, а также её свойством совершать геологически вечные круговороты в течение всей истории планеты. Эта созидательная сила нелинейно возрастала благодаря включению в процесс всё большего количества вторичных, формируемых водой соединений. Возникающее таким образом непрерывное усложнение получило название "эволюция". По Р. Докинзу, все результаты эволюции — плод многочисленных этапов разложения и синтеза не одной тысячи постоянно усложняющихся разнообразных соединений [1].

Вся история эволюции — процесс напластования сложностей, которые связаны между собой не механически, а генетически. В каждом последующем пласте имеются отдельные структурные элементы всех предыдущих. В первую очередь это новые виды и типы воды, которые пронизывают и пропитывают все сложные образования, ею созданные. Исток эволюционного усложнения кроется в несовместимости состава и структуры воды вначале с базальтами, а позже — с вторичными соединениями, продуктами предшествующих этапов растворения. Любая сложность возникает через водный раствор, и только с появлением разума и ноосферы человек научился создавать сложности разными способами, хотя во многих отраслях производства (здравоохранение, фармакология, сельское хозяйство, рыбоводство, лесоводство, пищевая промышленность и т. д.) водный этап необходим для получения результатов. Тот факт, что ведущий природный путь эволюции до сих пор малоизучен, приводит к многочисленным экологическим проблемам, когда человек действует не в унисон с природой. Надеемся, что наши исследования будут способствовать преодолению этого разрыва.

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 17-17-01158.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Докинз Р. Самое грандиозное шоу на Земле. Доказательства эволюции. М.: Астрель: Corpus, 2013.
2. Моисеев Н.Н. Расставание с простотой. Путь к очевидности. М.: Изд-во АГРАФ, 1998.
3. Алексеев В.А., Рыженко Б.Н., Шварцев С.Л. и др. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода—порода. Т. 1. Система вода—порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005.

4. *Поспелов Г.Л.* Парадоксы, геолого-физическая сущность и механизмы метасоматоза. Новосибирск: Наука, 1973.
5. *Шварцев С.Л.* Фундаментальные механизмы взаимодействия в системе вода—горная порода и её внутренняя геологическая эволюция // *Литосфера*. 2008. № 6. С. 3-24.
6. *Shvartsev S.L.* The basic contradiction that predetermined the mechanisms and vector of global evolution // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2015. V. 85. № 4. P. 342-351; *Шварцев С.Л.* Основное противоречие, определившее механизмы и направленность глобальной эволюции // *Вестник РАН*. 2015. № 7. С. 632-642.
7. *Helmann R., Penisson J.-M., Hervig R.L. et al.* An EFTEM/HRTEM high-resolution study of the near surface of labradorite feldspar altered at acid pH: evidence for interfacial dissolution-reprecipitation // *Phys. and Chem. of Minerals*. 2003. V. 30. P. 192-197.
8. *Zhang L., Lüttge A.* Theoretical approach to evaluating plagioclase dissolution mechanisms // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 2009. № 10. P. 2832-2849.
9. *Zhu Ch., Lu P., Zheng Z., Ganor J.* Coupled alkali feldspar dissolution and secondary mineral precipitation in batch systems: 4. Numerical modeling of kinetic reaction paths // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 2010. V. 74. P. 3963-3983.
10. *Lu P., Konishi H., Oelkers E., Zhu Ch.* Coupled alkali feldspar dissolution and secondary mineral precipitation in batch systems: 5. Results of K-feldspar hydrolysis experiments // *Chin. J. Geochem.* 2015. V. 34. P. 1-12.
11. *Putnis A.* Mineral replacement reactions: from macroscopic observations to microscopic mechanisms // *Mineral. Magaz.* 2002. V. 66. P. 689-708.
12. *Harlow D.E., Wirth R., Hetherington C.J.* Fluid-mediated partial alteration in monazite: the role of coupled dissolution in element redistribution and mass transfer // *Contrib. to Mineral. and Petrol.* 2011. V. 162. P. 329-348.
13. *Shvartsev S.L.* The internal evolution of the water-rock geological system // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2012. V. 82. № 2. P. 134-142; *Шварцев С.Л.* Внутренняя эволюция геологической системы вода—порода // *Вестник РАН*. 2012. № 3. С. 242-251.
14. *Shvartsev S.L.* Evolution in nonliving matter: nature, mechanisms, complication, and self-organization // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2017. V. 87. № 6. P. 518-526; *Шварцев С.Л.* Эволюция в неживой материи — природа, механизмы, усложнение, самоорганизация // *Вестник РАН*. 2017. № 12. С. 1091-1100.
15. *Shvartsev S.L.* Self-organizing abiogenic dissipative structures in the geologic history of the earth // *Earth Sci. Frontiers*. 2009. V. 16. № 6. P. 257-275.
16. *Shvartsev S.L.* How do complexities form? // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2014. V. 84. № 4. P. 300-309; *Шварцев С.Л.* Как образуются сложности? // *Вестник РАН*. 2014. № 7. С. 618-628.
17. *Shvartsev S.L.* Where did global evolution begin? // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2010. V. 80. № 2. P. 173-182; *Шварцев С.Л.* С чего началась глобальная эволюция? // *Вестник РАН*. 2010. № 3. С. 235-244.
18. *Shvartsev S.L.* Unknown mechanisms of granitization of basalts // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2016. V. 86. № 6. P. 513-526; *Шварцев С.Л.* Неизвестные механизмы гранитизации базальтов // *Вестник РАН*. 2016. № 12. С. 1106-1120.
19. *Кирюхин В.А., Коротков А.И., Шварцев С.Л.* Гидрогеохимия. М.: Недра, 1993.
20. *Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция* / Под ред. Ю.Г. Леонова, Ю.А. Воложа. М.: Научный мир, 2004.
21. *Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеи В.М.* Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2012.
22. *Шварцев С.Л., Рыженко Б.Н., Алексеев В.А. и др.* Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода—порода. Т. 2. Система вода—порода в условиях зоны гипергенеза. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.
23. *Plyusnin A.M., Zamana L.V., Shvartsev S.L. et al.* Hydrogeochemical peculiarities of the composition of nitric thermal waters in the Baikal rift zone // *Rus. Geol. and Geoph.* 2013. V. 54. № 5. P. 495-500; *Плюснин А.М., Замана Л.В., Шварцев С.Л. и др.* Гидрогеохимические особенности состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны // *Геология и геофизика*. 2013. № 5. С. 647-664.
24. *Комиссаров Г.Г.* Фотосинтез: физико-химический подход // *Химическая физика*. 2003. № 1. С. 24-54.
25. *Shvartsev S.L.* Bound water as an accumulator of solar energy in supergene clays // *Russ. Geol. and Geophys.* 2003. V. 44. № 3. P. 233-239; *Шварцев С.Л.* Связанная вода — аккумулятор солнечной энергии в глинах гипергенного генезиса // *Геология и геофизика*. 2003. № 3. С. 233-239.
26. *Рассадин Ю.П.* Вода обыкновенная и необыкновенная. М.: Галерея СТО, 2008.
27. *Kolesnikov A.I., Reiter G.F., Choudhury N. et al.* Quantum Tunneling of Water in Beryl: A New State of the Water Molecule // *Physical Review Letters*. 2016. V. 16. P. 116.
28. *Кнорре Д.Г., Мызина С.Д.* Биологическая химия. Изд. 4-е, перераб. и доп. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012.
29. *Khain V.E.* The interaction between the atmosphere, the biosphere, and the lithosphere is the most important process in the Earth's development // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2007. V. 77 № 5. P. 470-473; *Хаин В.Е.* Взаимодействие атмосферы, биосферы и литосферы — важнейший процесс в развитии Земли // *Вестник РАН*. 2007. № 9. С. 794-797.

30. *Shvartsev S.L.* Water as the main factor of global evolution // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2013. V. 83. № 1. P. 124-131; *Шварцев С.Л.* Вода как главный фактор глобальной эволюции // Вестник РАН. 2013. № 2. С. 124-131.
31. *Чайковский Ю.В.* Активный связный мир. Опыт теории эволюции жизни. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008.
32. *Andreev I.L.* The aquatic nanofoundation of human life and health // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. V. 87. № 1. P. 75-82; *Андреев И.Л.* Водный наноплатформенный фундамент жизни и здоровья человека // Вестник РАН. 2017. № 2. С. 145-153.
33. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999.
34. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986.
35. *Берёзов Т.Т., Коровкин Б.Ф.* Биологическая химия. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Медицина, 1998.
36. *Krylov M.V.* Evolutionary commonality of nonliving nature and living organisms // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2017. V. 87. № 3. P. 249-255; *Крылов М.В.* Эволюционная общность неживой природы и живых организмов // Вестник РАН. 2017. № 5. С. 441-448.
37. *Вернадский В.И.* История природных вод / Под. ред. С.Л. Шварцева, Ф.Т. Яншиной. М.: Наука, 2003.

## THE MAIN THEORIES OF ADDITIONAL COMPLICATIONS IN THE EARTH'S BIOSPHERE

© 2019 S.L. Shvartsev

*Tomsk Branch of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of SB RAS, Tomsk, Russia  
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia*

*E-mail: tomsk@ipgg.sbras.ru*

Received 15.11.2018

Revised version received 15.11.2018

Accepted 28.04.2019

Evolution is an important topic for science in general and has been the main concern of many scientists for several decades. One reason for this continued interest is that science is yet to disclose the creative role that water plays in the formation of the outer shell of the Earth, determined by its antagonistic relationship with basalts and with the simple products of photosynthesis. Nonequilibrium is the main state in all evolutionary processes, ensuring the creation of new equilibrium formations with the environment. However, the water cycle, which continuously determines the flow of new water to systems breaking equilibria, produces an additional complication, leading to the constant acceleration of the evolution of the structure that characterized by V.I. Vernadsky as "water-rock-gas-organic matter (animate and inanimate)". Water provides a unity of the behavior of inert material and living matter.

*Keywords:* evolution, additional complication, equilibrium-nonequilibrium state, photosynthesis, antagonistic contradiction, the formation of complexes.



---

ТОЧКА  
ЗРЕНИЯ

---

## ЦИКЛИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ РЕЛИГИЙ: ОТ ЕДИНСТВА К... ЕДИНСТВУ

© 2019 г. С.А. Горохов

*Институт географии РАН, Москва, Россия*

*E-mail: stgorohov@yandex.ru*

Поступила в редакцию 04.08.2018 г.

Поступила после доработки 04.08.2018 г.

Принята к публикации 25.03.2019 г.

Установлено, что формирование и развитие конфессионального пространства под влиянием конкуренции между религиями носит циклический характер. В результате ослабления монополии и роста религиозной конкуренции некогда преобладавшая религия постепенно вытесняется либо другой религией (Р-цикл религиозной конкуренции), либо — что стало характерной чертой XIX–XXI вв. — секулярными идеологиями (в случае социальной секуляризации — С-цикл, политической секуляризации — СП-цикл). Помимо этого выявлено существование достаточно длительных по продолжительности межцикловых этапов религиозного насыщения. Общим свойством всех трёх типов цикла является их неперIODичность. Для Р- и СП-циклов характерны также прерывистость, обратимость, возможность их протекания параллельно друг другу и Р-циклам. Территориальное распространение циклов имеет волновой характер, однако оно дифференцировано в рамках структуры конфессионального пространства: Р-цикл ограничен уровнями стран и их административно-территориальными единицами, СП-цикл — уровнем макрорегионов мира, при этом С-цикл не имеет ограничений.

*Ключевые слова:* конфессиональное пространство, религиозная конкуренция, цикличность развития, Р-, С- и СП-циклы, секулярные волны.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-5873898811-819>

Изучение циклических процессов общественного развития имеет давнюю традицию в мировой и отечественной науке. В значительной части письменных источников, начиная со священных текстов различных религий, трудов античных мыслителей и вплоть до научных изысканий наших современников, можно обнаружить упоминания или даже обстоятельный анализ периодичности в протекании разного рода надбиологических процессов (далее речь будет идти о проявлениях цикличности именно в этих рамках, если не указаны иные). Как справедливо отмечал Н.А. Бердяев, "в истории, как и в природе, существуют ритм, ритмическая смена эпох

и периодов, смена типов культуры, приливы и отливы, подъёмы и спуски. Ритмичность и периодичность свойственны всякой жизни" [1, с. 4].

Наиболее популярным в научных кругах стало изучение периодических циклов, то есть тех, которые имеют тенденцию к регулярному повторению через определённые промежутки времени. К ним относятся, например, циклы экономического развития М.И. Туган-Барановского [2], К. Жюльера [3], С. Кузнецца [4] и других авторов. Их небольшая продолжительность, а также непрерывные хронологические ряды необходимых для анализа данных, которыми располагают исследователи, стали причиной обнаружения циклических закономерностей экономической истории. Меньшее распространение в научных трудах получили периодические циклы политической истории (их изучением занимались, к примеру, Ж. Дромель [5], О. Лоренц [6] и другие). Средняя продолжительность политических циклов обычно незначительно превышает экономические, однако также базируется на непрерывных рядах статистических данных.

Гораздо большую среднюю продолжительность имеют социальные циклы и особенно циклы развития культур и цивилизаций. Их статистическая



ГОРОХОВ Станислав Анатольевич — доктор географических наук, ведущий научный сотрудник ИГ РАН.

доказательная база в большинстве случаев менее надёжна и часто дискретна в рамках анализируемого временного ряда. В то же время число выделяемых социальных и цивилизационных циклов вполне сопоставимо с экономическими и политическими. К ним, в частности, относятся циклы Ф. Броделя [7], Л.Н. Гумилёва [8], Н.Я. Данилевского [9], О. Шпенглера [10] и Ю.В. Яковца [11].

Как справедливо отмечает А.И. Трейвиш, "анализ исторического развития обычно требует фиксации событий в стадияльных схемах универсальных последовательных переходов, своих для каждой сферы и науки" [12, с. 37]. Несмотря на то, что в рамках различных концепций зарубежными и отечественными исследователями было открыто значительное число циклов общественного развития, в результате анализа источников мне и моим коллегам не удалось обнаружить ни одной работы, посвящённой выявлению циклического характера развития религий. Упоминание об этом встречается лишь однажды, однако оно не основывается на сколько-нибудь систематических исследованиях, а носит, скорее, предположительный характер.

Единственным, кто обратил внимание на формирование достаточно устойчивых во времени периодов развития религий, стал утопист Т. Кампанелла. Он подчеркивал, что "религии и секты (в своих изменениях) имеют специальный цикл. Как республики, заменённые монархиями или через стадию тирании, или аристократии, или олигархии, или политеи, или демократии, или иными способами, заменяются опять монархиями, так и религия, дезорганизованная ересью, заменяется атеизмом, который, после многих несчастий, ведёт вновь к восстановлению религии". И далее: "Есть циклическое движение в истории религий. Начиная с единства — то есть с папства или теократии — оно проходит различные стадии или формы от ереси до атеизма, откуда вновь приходит к единству. Эти три стадии — теократия, ересь и атеизм — повторяются в истории языческих, мусульманских и христианских наций" [13, с. 6, 7].

В дальнейшем влияние нерелигиозных циклов на развитие религий отмечали известные исследователи циклических процессов. К примеру, П.А. Сорокин подчёркивал вероятность существования циклов "великих социальных перемен", на протяжении которых "несколько религиозных... институций и идеологических систем или появлялись и приходили в упадок... или претерпевали радикальную перемену в своей организации и судьбе" [13, с. 10]. В качестве одного из "стимулов ущемления" как вызова человеческой среды рассматривал религиозную дискриминацию А. Тойнби [14]. Важную роль религии отводил Л. Вебер при выделении циклов эпох духовно-религиозно-этической и материалистически-технической цивилизаций [15].

Н.Д. Кондратьев замечал, что повышательная волна каждого выделенного им экономического цикла сопровождается упадком духовной культуры, в то время как понижательная — наоборот, её расцветом [16]. Наличие связи между 50–60-летними циклами экономического и политического развития и циклами религиозного "духовного производства" констатировал В. Парето [17]. В то же время подчеркну, что о выделении собственно религиозных циклов на основе эмпирических данных нам ничего неизвестно, и настоящая работа предстаёт первым в своём роде опытом их обоснования. При этом отдельные исследователи, например Ш. Гиньебер [18], отмечают вероятность периодических колебаний в уровне религиозности населения, а А.Д. Саватеев утверждает, что "радикальным исламским движениям свойственна периодичность появления, которая во многом обусловлена обостряющимися время от времени отношениями с Западом" [19, с. 117].

Под религиозным циклом следует понимать *совокупность последовательных, повторяющихся через некоторые промежутки времени состояний конфессионального пространства, характеризующихся равными или близкими в количественном отношении значениями показателей его компонентной структуры*. Данное определение, однако, нуждается в некоторых пояснениях.

Важной характеристикой условий, в которых существуют религии (в этой работе термины "религия" и "конфессия", несмотря на существенные отличия, рассматриваются как синонимы), является их конкуренция. Автором установлено, что именно конкурентные отношения выступают одной из основ формирования и функционирования конфессионального пространства [20]. В отличие от сторонников теории религиозной экономики, которые рассматривают религиозные организации как фирмы, конкурирующие между собой за верующих, считаю необходимым отметить значимость конкуренции на уровне идеологий. Опираясь на так называемую "бохумскую модель" взаимодействия религии и окружающей среды М. Бюттнера [21], можно констатировать, что конкуренция в этом отношении есть мера приспособляемости той или иной религии, её направлений к изменяющимся внешним условиям.

Особенность анализа конкурентных отношений между религиями заключается в возможности судить о них лишь по результату, которым в конечном счёте становится повышение доли одной из конкурирующих религий в конфессиональном пространстве и, наоборот, снижение доли другой. При этом конкурентоспособной считается религия, которая смогла увеличить свой "вес", во-первых, благодаря привлечению большего числа новообращённых в результате религиозной конверсии и, во-вторых, вследствие более высоких значений естественного

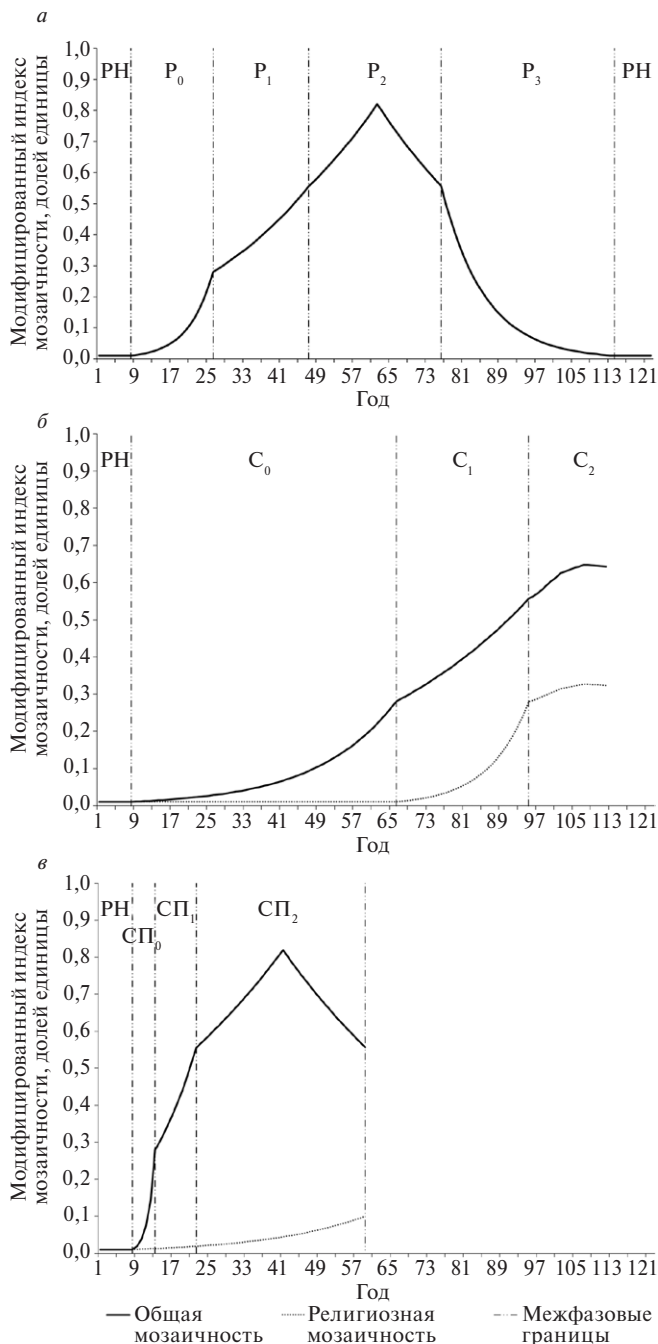
и миграционного прироста своих адептов, в значительной степени определяемых спецификой религиозных доктрин. В первом случае мы имеем дело с конкуренцией в её узком понимании, которое правомерно использовать, на мой взгляд, в рамках теории религиозной экономики, поскольку на первый план выдвигается именно качество религиозного продукта в сравнении с другими "производителями". В случае отхода от понимания религиозной конкуренции исключительно как межфирменного взаимодействия считаю наиболее продуктивной широкую трактовку меры конкурентоспособности религии, то есть достижение ею более высоких количественных показателей любым из указанных выше способов.

Ключевым индикатором успеха одной религии в конкурентных отношениях с другими служит снижение в её пользу уровня мозаичности конфессионального пространства. Для анализа изменений, происходящих в рамках компонентной структуры последнего, предлагаю использовать модифицированный индекс религиозной мозаичности (МИМ) [22], отражающий степень развития межрелигиозной конкуренции и лишённый недостатков часто применяемого в отечественных исследованиях индекса мозаичности Эккеля [23]:

$$\text{МИМ} = \frac{1 - \sum_{i=1}^m \pi_i^2}{1 - \frac{1}{m}},$$

где в случае конфессиональной мозаичности  $m$  — количество религий в исследуемом регионе;  $\pi$  — доля  $i$ -й религии в конфессиональной структуре исследуемого региона.

Соглашаясь с точкой зрения В.И. Пантина, что «с помощью понятия "волна" описывается прежде всего пространственный аспект состояния системы, а с помощью понятия "цикл" — последовательность, логика и взаимосвязь таких изменений» [24, с. 24], и учитывая, что предложенный показатель компонентной структуры конфессионального пространства отражает конкурентную природу последнего, считаю необходимым уточнить понятие религиозного цикла. Действительно, при изображении на графике (рис. а) зависимости МИМ (ось ординат) от времени (ось абсцисс) могут наблюдаться участки двух типов. Первый из них представлен в виде прямых, параллельных оси времени или же образующих с ней углы малой величины (участок до 9-го года). Значения МИМ в интервале 0—1 при этом варианте остаются стабильно низкими на протяжении десятков или сотен лет. Такие периоды предлагается именовать религиозными циклами покоя, или, чтобы отличать от циклов второго рода, — этапами религиозного насыщения (РН-этап). Афганистан и Сомали — наиболее яркий пример стран,



Изменение значений модифицированного индекса мозаичности в процессе прохождения конфессиональным пространством "усреднённых" циклов религиозной конкуренции — Р-цикла (а), С-цикла (б) и СП-цикла (в). Каждый из циклов, следующих за этапом религиозного насыщения (РН), состоит из четырёх фаз, обозначаемых соответствующим нижним индексом:

0 — начального замещения, 1 — устойчивого замещения, 2 — паритета, 3 — окончательного замещения; линия графика общей мозаичности отражает структуру пула конкурентных "игроков" с учётом как религий, так и секулярных идеологий; графика религиозной мозаичности — только религий

Источник: составлена автором.



в которых конфессиональное пространство ислама проходит именно этот этап развития.

Второй тип участка изображённой на графике зависимости МИМ от времени (назовём его "возмущения") имеет вид параболы с направленными вниз ветвями (участок между 9-м и 113-м годами). В результате ослабления монополии и роста религиозной конкуренции одна некогда преобладавшая религия постепенно вытесняется либо другой, либо секулярными идеологиями. По сравнению с длительностью РН-этапов этот процесс протекает достаточно быстро и в идеальном варианте заканчивается установлением новой монополии (участок после 113-го года). Подобные состояния конфессионального пространства, анализу которых и посвящена настоящая работа, предлагается называть *циклами религиозной конкуренции*.

Последние распадаются на три типа — Р-, С- и СП-циклы — в зависимости от того, какой актор выступает в качестве основного конкурента господствующей, но теряющей adeptов религии. Запуск циклов первых двух типов, в результате прохождения которых преобладавшая религия сменяется другой или секулярными идеологиями, обычно связан с ослаблением религиозной монополии и снижением роли государства как регулятора отношений в рамках конфессионального пространства (социальная секуляризация). Циклы третьего типа, напротив, могут начинаться при достаточно высоком уровне монополизации и связаны с активизацией государственной политики в области распространения секулярных идеологий (политическая секуляризация) [25].

Длительность "усреднённого" цикла каждого из трёх типов, а также их фаз определена эмпирическим путём на основе расчёта средней продолжительности соответствующих периодов (табл. 1). При этом в качестве обязательных были приняты следующие условия. Во-первых, каждая из фаз начинается и завершается в течение временного интервала, доступного для наблюдения в нашей базе данных: по всем странам мира, приведённым к современным границам, — с 1900 г., а для трети из них — и за более ранний период, вплоть до 1700 г. [26]. Во-вторых, каждая из фаз сменяется следующей, появление которой продиктовано последовательностью развития конфессионального пространства. При анализе С- (рис. б) и СП-циклов (рис. в) по графику МИМ дополнительно, помимо линии общей мозаичности, иллюстрирующей протекание конкурентных отношений между приверженцами как конкурирующих религий, так и светских (секулярных) идеологий, необходимо проанализировать ход линии религиозной мозаичности графика МИМ, отражающей конкурентные отношения исключительно между религиями без учёта нерелигиозного населения (линия графика религиозной мозаичности на рисунке а совпадает с линией графика общей мозаичности по причине отсутствия нерелигиозного населения). Установленные границы последовательных фаз при этом выбраны так, что длины дуг параболы для каждой из них во время прохождения идеального цикла конкуренции двух религий относятся как 1:1:2:2, что позволяет очистить продолжительность фаз от влияния плавающих границ. Строго говоря, соотно-

**Таблица 1.** Условия прохождения и продолжительность фаз, составляющих "усреднённые" циклы конкуренции разных типов

Фаза: условия прохождения		СП-цикл	Р-цикл	С-цикл
<i>Начального замещения:</i> МИМ $\in [0,000; 0,280]$ доля замещаемой религии $\geq 87\%$	Продолжительность, лет	5	18	58
	Число стран, прошедших фазу	11	17	25
<i>Устойчивого замещения:</i> МИМ $\in [0,281; 0,556]$ $87\% >$ доля замещаемой религии $\geq 70\%$	Продолжительность, лет	9	21	29
	Число стран, прошедших фазу	19	31	6
<i>Паритета:</i> МИМ $\in [0,557; 1,000] \cup [1,000; 0,557]$ $70\% >$ доля замещаемой религии $\geq 30\%$	Продолжительность, лет	37	29	24*
	Число стран, прошедших фазу	4	26	1
<i>Окончательного замещения:</i> МИМ $\in [0,556; 0,000]$ доля замещаемой религии $< 30\%$	Продолжительность, лет	—	38	—
	Число стран, прошедших фазу	0	26	0
<b>Итого: продолжительность полуцикла, лет</b>		<b>32</b>	<b>53</b>	<b>99</b>

\* Лишь в Нидерландах пройден пик С-цикла и началась его понижательная часть. В этой связи потенциальная продолжительность фазы приведена на основе допущения о равенстве повышательной и понижательной частей графика МИМ.

Источник: составлена автором.

шение должно быть иным: 1:1:4:2, однако значение МИМ в фазе паритета крайне редко достигает показателей, превышающих 0,82.

Эмпирически выявленная средняя продолжительность Р-цикла в странах мира с учётом всех фаз составляет 106 лет. За это время происходит процесс практически полной замены одной религии другой. Считаю уместным подчеркнуть близость полученных эмпирическим путём результатов и упоминаемой итальянским историком XIX в. Дж. Феррари длительности процесса установления христианства в Риме, "продолжавшегося 115 лет — от Диоклетиана... до Феодосия" [27, р. 113]. Разумеется, в данном правиле можно найти некоторые исключения, однако удлинённость или, наоборот, укороченность Р-цикла в целом или каких-то его фаз в частности в отдельно взятой стране можно соотнести, скорее, с уникальными особенностями проходящих в ней религиозных процессов, а не с несовершенством предлагаемой модели.

За доступный для наблюдения временной интервал лишь 10 стран мира, расположенных в Океании и Африке к югу от Сахары, прошли в своём развитии полный Р-цикл, то есть от одного РН-этапа до другого, причём везде наблюдалось замещение этнорелигий христианством. В половине из них (Папуа—Новая Гвинея, Намибия, Сан-Томе и Принсипи, а также бывшие переселенческие колонии — Австралия и Новая Зеландия) реальный Р-цикл был на треть короче "среднего" варианта. Доля христианства росла здесь вследствие обращения местных жителей в христиан немногочисленными миссионерами и за счёт эмиграции жителей метрополии или иной, уже прошедшей Р-цикл христианства, территории. Во второй группе стран (преимущественно бывшие сырьевые колонии Ангола, Бурунди, Руанда, Республика Конго и Демократическая Республика Конго), где преобладал первый вариант, длительность реального Р-цикла соответствовала среднему варианту.

До XIX в. Р-циклы, по-видимому, были единственными в своём роде периодами религиозной конкуренции. Один приходил на смену другому, между ними наблюдались достаточно длительные межцикловые этапы относительного затишья религиозной конкуренции — так продолжалось на протяжении столетий. В XIX в. впервые появилась иная разновидность Р-циклов, когда изменения в структуре конфессионального пространства стали происходить также под влиянием конкурентных отношений между религией и светскими идеологиями. Во многих странах мира следующий цикл был запущен количественным ростом не адептов новой религии, а нерелигиозного населения (С-цикл). Напомним, что под нерелигиозностью понимается сознательный отказ индивидуума от причастности к идеям и ценностям,

которые в данной культуре принято называть религиозными, а также от принадлежности к конкретной форме религии и религиозной группе.

С-цикл — самый продолжительный среди выделенных трёх типов. Поясню: поскольку ни в одной стране мира полностью не был закончен ни один из С- или СП-циклов, сравнение продолжительности последних между собой и с Р-циклом считаю возможным осуществлять на основе их половин — полуциклов (до достижения графиком точки перегиба в фазе паритета), средняя продолжительность которых известна. Существенно бо́льшая продолжительность начальной фазы С-цикла по сравнению с таковой для Р- и СП-циклов объясняется тем, что, вероятно, господствовавшая в пределах определённой территории религия обладала бо́льшей устойчивостью по отношению к нерелигиозности, чем к другой религии, приходящей на смену в рамках Р-цикла. При этом в ходе С-цикла наблюдалось ускорение конкуренции после фазы начального замещения.

Максимально продвинулись по пути социальной секуляризации Нидерланды: здесь, по всей видимости, уже пройден пик С-цикла и началась его понижательная стадия в фазе. В этой связи усреднение значений продолжительности данной фазы по странам мира не проводилось, а эталоном для идеального С-цикла в его фазе  $C_2$  стали именно Нидерланды. Вполне закономерно наступление и прохождение фазы  $C_2$  также Францией, Новой Зеландией и Швецией. Можно было бы ожидать ещё более раннего окончания фазы  $C_2$  в Уругвае — первой стране мира, которая вступила в неё ещё на рубеже XVIII—XIX вв., однако сохраняющийся здесь вплоть до настоящего времени статус-кво между религией и нерелигиозностью законсервировал конфессиональное пространство этой страны более чем на два столетия.

Обратное явление — замедление конкуренции в фазе паритета — наблюдается в случае самых коротких СП-циклов. Характерной особенностью последних, отличающей их от С- и тем более Р-циклов, служит резкое расхождение графиков общей и религиозной мозаичности и их практически полная асинхронность в дальнейшем: линия общей мозаичности резко устремляется вверх, в то время как линия религиозной мозаичности остаётся достаточно близкой к оси времени. Начинаться циклы этого типа могут абсолютно внезапно, когда вследствие резкой смены государственной политики в отношении религии, направленной на её отрицание или даже преследование, запускается процесс политической секуляризации.

Всего 28 стран в явном виде проходили в своём развитии СП-цикл. Бо́льшую их часть составляют республики бывшего СССР, 13 оставшихся государств — страны бывшего социалистического лагеря (кроме Вьетнама и Кубы). Однако ни в од-

ной указанной стране СП-цикл не был окончен: для подавляющего большинства последней оказалась фаза  $СП_2$ . К фазе  $СП_3$  перешли лишь Албания, Армения, Молдавия и КНДР. СП-цикл, который почти везде (за исключением КНДР) завершался так же внезапно, как и начинался, в конце в обязательном порядке имел промежуточный десекулярный этап. Лишь по его завершении происходило восстановление в той или иной форме прежнего хода предшествующих Р- или С-циклов. Основная черта этого этапа, продолжавшегося в среднем 20 лет, — достаточно резкое сокращение доли нерелигиозного населения, которое росло на протяжении предшествующего СП-цикла, и увеличение доли основной религии (или религий), которые в прошлом формировали компонентную структуру конфессионального пространства.

К общим свойствам трёх типов циклов относятся их неперIODичность. Для Р- и СП-циклов характерны также прерывистость и обратимость: во время любой из фаз они могут смениться циклом "своего" типа (в случае Р-циклов) или иного, а затем вернуться вновь. В то же время фаза паритета представляет собой наиболее устойчивое состояние цикла: в XX — начале XXI в. Р-циклы прерывались чаще всего либо в начале своего прохождения, либо в его конце. Особое свойство С-циклов и СП-циклов — возможность их протекания параллельно друг другу и Р-циклам (как это имело место, например, в Сингапуре, Японии и Вьетнаме, когда произошло наложение С-цикла в фазе  $C_0$  на Р-цикл в фазе  $P_2$ ).

Важным аспектом представляется общая продолжительность Р- и С-циклов. Для первых она составляет, как было установлено, около 100–110 лет. Для вторых относительно уверенно можно говорить лишь о продолжительности повышательной стадии: в случае, если понижательная стадия, как и для Р-циклов, в перспективе будет иметь примерно такую же длительность, что и повышательная, то продолжительность всего С-цикла можно определить периодом 200–220 лет.

Обращает на себя внимание кратность циклов. Во-первых, в один С-цикл укладываются два Р-цикла. Вернее, основываясь на имеющихся в нашем распоряжении данных, стоит говорить о примерно одинаковой продолжительности полного Р-цикла и повышательной стадии С-цикла. Во-вторых, и это, на мой взгляд, даже более важно, в один Р-цикл и в половину С-цикла укладываются два цикла Кондратьева. Многие исследователи подчёркивают тот факт, что "полный цикл эволюционного усложнения мировой экономической и политической системы... соответствует двум кондратьевским циклам" [28, с. 139, 140]. Вероятно, первыми это обстоятельство отметили Т.К. Хопкинс и И. Валлерстайн [29].

Как справедливо подчёркивается, «в подавляющем большинстве "циклических" работ по экономической истории используется цикл Кондратьева длительностью 50–60 лет или производные этого цикла, кратные ему... Точно так же и в работах по социальной и политической истории, и по истории культуры наиболее распространённым является 50–60-летний цикл смены поколений ("отцов и детей") или его производные» [30, с. 433]. В настоящей работе тем не менее констатируется лишь кратность выделенных Р- и С-циклов циклам Кондратьева или циклам смены поколений. Как представляется, изучению их соотношения должно быть посвящено отдельное глубокое исследование, затрагивающее в том числе вопрос возможности соотнесения периодических и неперIODических циклов.

До начала Первой мировой войны большая часть стран Северной и Латинской Америки, Западной, Северной и Южной Европы, а также Австралия и Новая Зеландия завершили свой последний Р-цикл и перешли либо к РН-этапу, либо к С-циклу. Раньше всего, вероятно, завершился последний Р-цикл в европейской части, причём завершение это произошло задолго до Первой мировой войны. Так, на рубеже XVII–XVIII вв. конфессиональное пространство Нидерландов уже находилось на РН-этапе.

Более поздним оно было в Новом Свете: начало последнего Р-цикла совпало с активной колонизацией этих территорий европейцами и, как следствие, было обусловлено масштабной прозелитической деятельностью христианских миссионеров среди коренного населения, исповедующего этнические религии.

В XX в. наиболее широкое развитие Р-цикл получил в странах Восточной Европы, Азии и Африки, причём в большинстве из них он либо ещё продолжается, либо завершился РН-этапом. В некоторых из них — прежде всего в Восточной Европе — значительную конкуренцию христианству составлял иудаизм (особенно до Второй мировой войны), затем — политическая секуляризация. Последняя имела схожее влияние в рамках конкурентных отношений с буддизмом/китайской традиционной религией и исламом во многих странах Восточной и Центральной Азии соответственно.

Конкуренция между этнорелигиями, буддизмом и исламом обусловила прохождение Р-цикла странами Юго-Восточной Азии. Подобная ситуация имеет место в Южной Азии, где соперничество с буддизмом и исламом за сохранение господствующего положения ведёт индуизм. Наиболее стабильная ситуация в XX в. сложилась в Юго-Западной Азии (кроме Израиля), где прочные позиции ислама лишь незначительно смогли поколебать христианство и в меньшей степени



индуизм. Начался этот процесс в последней трети столетия и был связан с активной трудовой миграцией в страны Персидского залива.

Однако по-настоящему жёсткая конкурентная борьба развернулась в XX в. в Африке. Масштабная колонизация началась здесь лишь в XIX в., поэтому к началу Первой мировой войны страны этого региона подошли, когда Р-цикл был в самом разгаре: к югу от Сахеля на смену этническим религиям приходило христианство, которое имело серьёзные претензии на лидерство в традиционно исламских районах на севере Африки. Тем не менее в дальнейшем произошло сжатие зоны активной конкуренции. Уход европейцев вызвал разворот Р-цикла вспять в Северной Африке, что привело к возвращению лидерства ислама вплоть до наступления здесь РН-этапа.

Схожая ситуация наблюдалась в Южной, а также в большей части стран Центральной и Восточной Африки, где главенствующую роль стало играть христианство, почти полностью вытеснившее этнорелигии. Активное соперничество между христианством и исламом, оставаясь актуальным в начале XXI в. для Африки в целом, в наибольшей степени активизировалось в странах зоны Сахеля. Закономерным в этом отношении представляется развитие исламских террористических группировок в странах бассейна озера Чад, в Мали, Судане и Сомали.

Таким образом, в процессе запуска Р-цикла (как и окончания или начала РН-этапа) на разных уровнях территориальной структуры конфессионального пространства проявляется дискретный характер последнего в рамках анализируемого временного интервала. Это означает, что распространение Р-цикла в настоящее время не носит характера непрерывной в территориальном отношении волны. Запуск цикла религиозной конкуренции в XVI–XX вв. был обусловлен прежде всего распространением христианства в результате миссионерской деятельности.

Шла она в соответствии с планом колонизации новых территорий европейцами, который зачастую нарушался их земляками, поэтому миссионерская деятельность часто имела спонтанный характер и не была по своей сути центр-периферической.

В случае С-циклов рассматриваемый феномен религиозно-секулярной конкуренции можно считать переносимым из одной страны в другую. Иными словами, социальная секуляризация распространяется волнами, захватывая всё новые территории. Так, в начале XX в. С-цикл проходил в конфессиональном пространстве примерно 20 стран, расположенных преимущественно в Европе, и в меньшей степени — в Америке. В течение столетия социальная секуляризация охватывала всё новые территории, став в начале XXI в. основным циклом развития конфессионального пространства почти всех стран Европы (кроме Восточной), Америки (за редким исключением) и Океании. При этом волнообразный характер распространения социальной секуляризации к началу XXI в. способствовал территориальной дифференциации стран мира по степени вовлечённости их конфессионального пространства в этот процесс.

Несмотря на то, что основные преобразования территориальной структуры конфессионального пространства в процессе прохождения С-цикла имели место в течение XX в., начало им было положено в конце XVIII в. (табл. 2). Причём преобразования эти носили волновой характер. За первой секулярной волной, зародившейся примерно в одно и то же время в Европе (Великобритания), Северной Америке (США) и Южной Америке (Уругвай) в конце XVIII в., последовала вторая — практически исключительно европейская. Во второй половине XIX в. уже достаточно отчётливо вырисовывались контуры центра и периферии той части конфессионального пространства, которое

**Таблица 2.** Изменения структуры конфессионального пространства в процессе прохождения С-цикла (секулярные волны)

№ волны	Период наибольших преобразований	Характеристика изменений структуры в период прохождения волны	Страна с наиболее интенсивным развитием секулярных процессов
1	1780—1790 гг.	оформление ядра	Великобритания, США, Уругвай
2	1850—1880 гг.	продолжение формирования ядра, оформление периферии	Швеция, Норвегия, Нидерланды, Франция
3	1900—1920 гг.	продолжение формирования ядра, разделение на полупериферию и периферию	Бельгия, Германия, Италия, Мексика, Аргентина
4	1960—1980 гг.	завершение формирования ядра, периферии и полупериферии	Австралия, Новая Зеландия, Чили, Парагвай, Бразилия
5	1990—2000 гг.	разделение ядра на внутреннее и внешнее	Нидерланды, Франция, Новая Зеландия, Швеция

Источник: составлена автором.

проходило в своём развитии С-цикл. Третья волна, как и первая, распространялась и в Европе, и в Америке (например, от США к Мексике, от Уругвая к Аргентине). Четвёртая волна, наоборот, носила преимущественно внеевропейский характер: инициировав С-цикл в конфессиональном пространстве Океании и большинства стран Латинской Америки, в Европе и Северной Америке, она в основном вызвала его усложнение, то есть переход к следующим фазам. Таким образом, к 1970–1980 годам в целом оформились ядро, полупериферия и периферия территориальной структуры конфессионального пространства в рамках С-цикла. Дальнейшее усложнение структуры на рубеже XX–XXI вв. в виде пятой секулярной волны привело к расслоению ядра на внутреннее и внешнее.

К числу стран, составляющих ядро территориальной структуры конфессионального пространства во время прохождения им С-цикла, относятся такие, которые имеют достаточно высокую степень зрелости секулярных процессов. Ядро, будучи неоднородным, делится на внутреннее (прохождение фазы  $C_2$ ) и внешнее (фаза  $C_1$ ). Полупериферию образуют государства, в большей части которых С-цикл начался сравнительно недавно (фаза  $C_0$ ) и ещё не получил широкого распространения. Самую большую периферийную группу образуют страны, не проходящие в настоящее время С-цикл, но потенциально имеющие возможность в будущем быть охваченными социальной секуляризацией.

В отличие от С-цикла, распространение СП-цикла имеет выраженный волновой характер только до уровня регионов. Данный факт очевиден, учитывая механизм развития политической секуляризации — сверху. Будучи инициированной в Советском Союзе, политическая секуляризация была распространена в первую очередь в его границах, а также в Монголии, неофициально называвшейся 16-й союзной республикой. При этом наиболее интенсивными темпами её развитие шло в центрально-азиатских республиках бывшего СССР, Монголии и Грузии. В то же время именно с этих территорий с середины XX в. началось ослабление секуляризации сверху и возвращение конфессионального пространства в его естественное русло через десекулярный этап. Потеряв территории в Центральной Азии и частично в Закавказье, политическая секуляризация распространилась в пределах стран социалистического лагеря в Европе (кроме Венгрии, Польши, лишь частично затронутой СП-циклом) и в Восточной Азии (Китай, КНДР). Экономическое и политическое ослабление СССР к концу 1980-х годов сопровождалось отходом от политики секуляризации сверху практически во всех странах, вовлечённых ещё 20 лет назад в СП-цикл.

Итак, к числу основных плюсов модели религиозных циклов относится не только возможность объяснения процесса смены одной религии другой (или секулярными идеологиями), но прежде всего наличие аппарата прогнозирования развития конфессионального пространства. Знание закономерностей смены фаз циклов религиозной конкуренции даёт возможность исследователю в большинстве случаев сформулировать дальнейшие кратко- и среднесрочные тенденции развития конфессионального пространства. Данный подход, как представляется, имеет ряд преимуществ перед наиболее распространённым в настоящее время методом прогнозирования, основанным на постулате о неизменяемости в будущем значений показателей роста численности религиозных общин, наблюдающихся в настоящее время. Именно последний вариант прогнозирования используется в наиболее авторитетных источниках по конфессиональной статистике [31, 32]).

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 0148-2019-0008.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бердяев Н.А. Новое средневековье. М.: Директ-Медиа, 2008.
2. Туган-Барановский М.И. Периодические промышленные кризисы. М.: Директмедиа Паблишинг, 2008.
3. Juglar C. Des Crises Commerciales et de leur retour périodique en France, en Angleterre et aux États-Unis. Paris: Guillaumin, 1862.
4. Kuznets S. Secular Movements in Production and Prices. Their Nature and their Bearing upon Cyclical Fluctuations. Boston: Houghton Mifflin, 1930.
5. Dromel J. La loi des revolutions, les generations, les nationalités, les dynasties, les religions. Paris: Didier and Co, 1862.
6. Lorenz O. Die Geschichtswissenschaft in Hauptrichtungen und Aufgaben. Berlin: W. Hertz, 1886.
7. Бродель Ф. Материальная цивилизация, экономика и капитализм, XV–XVIII вв. Т. 3. Время мира / Пер. с франц. Л.Е. Куббеля. Изд. 2-е. М.: Весь мир, 2007.
8. Гумилёв Л.Н. Этногенез и биосфера Земли. Изд. 3-е. Л.: Гидрометеиздат, 1990.
9. Данилевский Н.Я. Россия и Европа / Отв. ред. О.А. Платонов. Изд. 2-е. М.: Институт русской цивилизации, Благословение, 2011.
10. Шпенглер О. Закат Европы. Очерки морфологии мировой истории. Т. 1. Гештальт и действительность / Пер. с нем. Вступ. ст. и примеч. К.А. Свасьяна. М.: Мысль, 1998.
11. Яковец Ю.В. Эпохальные инновации XXI века. М.: Экономика, 2004.
12. Трейвиш А.И. Город, район, страна и мир. Развитие России глазами страноведа. М.: Новый хронограф, 2009.

13. *Сорокин П.А.* Обзор циклических концепций социально-исторического процесса // Россия и современный мир. 1998. № 4(21). С. 3-14.
14. *Тойнби А.Дж.* Постигание истории. Сборник статей / Пер. с англ. Е.Д. Жаркова. Сост. А.П. Огурцов. Вступ. ст. В.И. Уколовой. М.: Прогресс, 1996.
15. *Weber L.* Le Rythme du progrès: Etude sociologique. Paris: F. Alcan, 1913.
16. *Кондратьев Н.Д.* Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды. М.: Экономика, 2002.
17. *Pareto V.* Les Systèmes Socialistes. Paris: V. Giard & E. Brière, 1902.
18. *Guignebert Ch.* L'Évolution des Dogmes. Paris: E. Flammarion, 1910.
19. *Саватеев А.Д.* Политический ислам в концепциях российских исследователей // Ислам в современном мире. 2015. Т. 11. № 2. С. 109-118.
20. *Горохов С.А.* Динамика конфессионального геопространства мира под влиянием религиозной конкуренции: дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2017.
21. *Büttner M.* Religion and Geography: Impulses for a New Dialogue between Religionswissenschaftlern and Geographers // Numen. 1974. V. 21(3). P. 163-196.
22. *Горохов С.А.* Религиозная мозаичность как фактор экономического развития регионов современного мира // Вестник Московского университета. Сер. 5 "География". 2014. № 4. С. 56-61.
23. *Эккель Б.М.* Определение индекса мозаичности национального состава республик, краёв и областей СССР // Советская этнография. 1976. № 2. С. 33-42.
24. *Пантин В.И.* Волны и циклы социального развития: Цивилизационная динамика и процессы модернизации. М.: Наука, 2004.
25. *Gorokhov S.A., Dmitriev R.V.* Experience of geographical typology of secularization processes in the modern world // Geography and Natural Resources. 2016. V. 37(2). P. 93-99.
26. *Brown D., James P.* Religious Characteristics of States Dataset, Phase 1: Demographics (RCS). 2013-2014. <http://www.thearda.com/Archive/Files/Descriptions/BROWN.asp> (дата обращения 18.06.2016).
27. *Ferrari G.* Teoria dei periodi politici. Milano-Napoli: Hoepli, 1874.
28. *Пантин В.И., Айвазов А.Э.* Циклы Кондратьева и эволюционные циклы мировой системы: обоснование и прогностический потенциал // Кондратьевские волны: аспекты и перспективы: ежегодник / Отв. ред. А.А. Акаев, Р.С. Гринберг, Л.Е. Гринин, А.В. Коротаев, С.Ю. Малков. Волгоград: Учитель, 2012. С. 136-155.
29. *Hopkins T.K., Wallerstein I. et al.* Cyclical Rhythms and Secular Trends of the Capitalist World-Economy: Some Premises, Hypotheses and Questions // Review (Fernand Braudel Center). 1979. V. 2(4). P. 483-500.
30. *Савельева И.М., Полетаев А.В.* История и время. В поисках утраченного. М.: Языки русской культуры, 1997.
31. Atlas of Global Christianity. 1910-2010 / Eds. T.M. Johnson, K.R. Ross. Edinburgh: Edinburgh University Press, 2009.
32. *Barrett D.B., Kurian T.K., Johnson T.M.* World Christian encyclopedia: a comparative survey of churches and religions in the modern world. 2<sup>nd</sup> ed. V. 1. N.Y.: Oxford University Press, 2001.

## CYCLICAL MOVEMENT OF RELIGIONS: FROM UNITY TO... UNITY

© 2019 S.A. Gorokhov

*Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

*E-mail: stgorokhov@yandex.ru*

Received 04.08.2018

Revised version received 04.08.2018

Accepted 25.03.2019

It has been established that the formation and development of a confessional space, influenced by competition between religions, are cyclical. Due to the weakening of the monopoly and growth of religious competition, once-prevailing religions begin to lose their position either to another religion (the R-cycle of religious competition) or to secular ideologies (such as social secularization, the S-cycle, or political secularization, the SP-cycle), a hallmark of the 19th–21st centuries. Moreover, the research revealed long inter-cycle stages in religious saturation. All three types of cycles are non-periodical. The S- and SP-cycles are also intermittent and reversible, and they may proceed in parallel with each other and with R-cycles. The diffusion of these cycles is wave-like but differentiated within the confessional space structure: the occurrence of the R-cycle is confined to countries and their administrative–territorial units, while the SP-cycle appears in world macro-regions, and the S-cycle does not appear to be constrained.

*Keywords:* confessional space, religious competition, cyclical development, R-, S-, SP-cycles, secular waves.



---

ОРГАНИЗАЦИЯ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

---

## РОССИЯ В МИРОВОМ МАССИВЕ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

© 2019 г. Ю.В. Мохначева\*, В.А. Цветкова\*\*

*Библиотека по естественным наукам РАН, Москва, Россия*

*\*E-mail: jym@benran.ru; \*\*E-mail: vats08@mail.ru*

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 26.12.2018 г.

Принята к публикации 25.03.2019 г.

В статье приведены результаты исследования представленности российских публикаций в общемировом массиве публикаций по узким тематическим направлениям за весь постсоветский период на фоне рангового распределения в Web of Science Core Collection (WoS CC). Для поиска и последующего анализа использовался классификатор "Web of Science Categories". Из 252 предметных категорий WoS CC получены результаты по 132 научным направлениям, в которых доля российских публикаций в 2010—2017 гг. составляла не менее 0,4% от общемировых потоков по соответствующим дисциплинам. В результате было обнаружено постепенное восстановление Россией утраченных после 1993—2000 гг. позиций в общемировом рейтинге стран по количеству публикаций в WoS CC. В настоящее время позитивные изменения наблюдаются как для всего массива российских публикаций, так и с дифференциацией по узким научным тематикам. Выявлено, что наивысшие ранговые позиции у России были в 1993—1999 гг., а наибольший спад, когда доля российских публикаций опустилась до минимальных значений, пришёлся на 2011—2014 гг. Приведены данные о научных направлениях, по которым России удалось удержаться в десятке стран-лидеров на протяжении всего постсоветского периода по доле публикаций в общемировом массиве. Этот перечень немного расширился с 2010 по 2017 г. и на сегодня включает 39 направлений, по которым Россия входит в Топ-10 стран, а по восьми областям знания — в пятёрку государств-лидеров.

**Ключевые слова:** наука в России, публикационная активность, Web of Science Core Collection, библиометрия, российский массив публикаций, наукометрия, научные направления, рейтинги стран.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873898820-830>

Согласно указу Президента РФ от 7 мая 2012 г. № 599 "О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки", перед российским научным сообществом была

поставлена цель увеличить к 2015 г. долю «публикаций российских исследователей в общем количестве публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных "Сеть науки" (Web of Science), до 2,44%» [1]. Эта задача была полностью выполнена [2, 3]. Спустя шесть лет (7 мая 2018 г.) Президент РФ подписал указ "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года". В соответствии с указом Правительству РФ дано поручение при разработке национального проекта в сфере науки исходить из того, что в 2024 г. "необходимо обеспечить присутствие Российской Федерации в числе пяти ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития" [4, 5]. Для реализации поставленной задачи Правительством РФ принято решение о подготовке Национального проекта "Наука". Одна из основных его целей — вхождение Российской Федерации в пятёрку ведущих стран мира в прио-



МОХНАЧЕВА Юлия Валерьевна — кандидат педагогических наук, ведущий научный сотрудник, и.о. заведующего отделом наукометрических исследований БЕН РАН. ЦВЕТКОВА Валентина Алексеевна — доктор технических наук, ведущий научный сотрудник БЕН РАН.

ритетных для неё областях науки [6]. В числе задач — увеличение доли публикаций российских учёных в базе WoS CC с 2,44 до 5% [7].

О современном состоянии науки в России невозможно судить в отрыве от динамики её развития: наблюдается спад или рост; интеграция в мировое научное пространство растёт или сокращается? Проследить динамику публикационных потоков во времени, а на основе анализа соавторства понять степень интеграции в мировое научное пространство можно с помощью библиометрических методов. Однако следует учитывать, что получаемые таким образом результаты лишь отчасти характеризуют состояние научно-технической сферы, поскольку анализируется лишь количественная оценка научной продуктивности, а в роли опосредованного индикатора качества научных публикаций выступает уровень их цитируемости.

Вопросам состояния и развития науки в России посвящено множество исследований. В монографии [8] в центре внимания позиции России в мировой науке по материалам Web of Science за 1991–2002 гг. проводится сравнение вклада СССР в 1981–1991 гг. и России в 1991–2002 гг., подробно анализируется место России в мировой научной системе. Работы [9–13] посвящены публикационной активности российских учёных, в них приводится сравнение динамических характеристик российских публикационных потоков с показателями других стран, включая страны Большой восьмёрки и БРИКС. Обстоятельствам возросшей публикационной активности университетов в рамках проекта 5–100 посвящена статья [14]. Её авторы представили результаты исследования, показавшего пятикратное увеличение числа публикаций с 2010 по 2016 г. в Scopus. Кроме того, в статье обстоятельно разбираются причины возросшей публикационной активности университетов. В работе [15] рассматриваются тенденции в российской науке на фоне других стран по таким индикаторам, как уровень цитируемости, доля нецитированных авторов и отдельных научных работ в общем массиве, международное участие в публикациях. В статье [16] публикационная активность российских организаций оценивается с точки зрения их ведомственной принадлежности.

Большое количество работ посвящено вопросам библиометрического анализа публикационных потоков российских авторов по отдельным научным направлениям. В статье [17] рассматриваются возможности автоматизированной библиотечно-информационной системы ИРБИС в проведении наукометрического анализа научной деятельности и её результатов в области нанотехнологий. На основе созданной

библиографической БД "Наноструктуры, наноматериалы, нанотехнологии: труды сотрудников СО РАН" проанализированы количественные данные ряда информационно-поисковых полей (ИПП), что позволило многоаспектно охарактеризовать научные исследования. Показана динамика публикационной активности институтов СО РАН в 2000–2013 гг. В статье [18] представлен библиометрический анализ развития углеродного направления нанотехнологий в 2000–2015 гг., включая международный аспект, на основе данных Science Citation Index Expanded. Показан сдвиг центра мировых исследований в Азиатский регион как по количественным, так и по качественным индикаторам. В работе [19] на основе реферативной базы данных "Экология: наука и технологии" электронного каталога ГПНТБ России проведено библиометрическое исследование научных публикаций по экологии в сопоставлении с базой данных РИНЦ. Выявлена динамика публикационной активности в 2012–2016 гг. В статье [20] рассмотрены возможности политематических ресурсов "Web of Science Core Collection", "Scopus" и РИНЦ в библиометрическом анализе публикационных потоков организаций медико-биологического профиля, подведомственных в тот период Федеральному агентству научных организаций (ФАНО) России. Возможности перечисленных ресурсов проанализированы с точки зрения функциональности, полноты и корректности получаемых наукометрических данных для последующей их интерпретации. В работе [21] на основе Science Citation Index Expanded и Chemical Abstracts представлены результаты анализа российских химических исследований 2001–2005 гг. Автор делает вывод о спаде фундаментальных исследований в этой области, что является частью негативной динамики более длительного периода — 2001–2008 гг. В статье [22] сравниваются национальные расходы на НИОКР, численность исследователей, приводятся данные о публикационной активности учёных ряда стран, занимающих лидирующие позиции в мировой науке, а также данные о приоритетных научных направлениях в разных странах.

Несмотря на большое количество исследований, посвящённых библиометрическому анализу российского публикационного потока, пока недостаточно работ, в которых рассматривается динамика долевого распределения российских публикаций по узким тематическим направлениям за длительный период на фоне мирового рангового распределения.

Цель нашего исследования (оно проводилось на основании данных, полученных с марта по июль 2018 г.) заключалась в определении динамики изменений ранговых и долевого по-

зиций России в различных научных областях на протяжении постсоветского периода — 1993—2017 гг. За информационную основу была взята база данных Web of Science Core Collection [23], в которую интегрированы два классификатора: "Web of Science Categories" (252 предметные категории) [24] и "Research Areas" [25] (151 область знания) — их сходство и различие подробно изложены в работе [26]. Мы выбрали "Web of Science Categories", так как многие научные дисциплины здесь представлены явным образом, а не поглощены более широкими направлениями. В поиске использовались 8 баз данных, входящих в состав WoS CC: Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED), Social Sciences Citation Index (SSCI), Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) — с 1975 г. по настоящее время; Conference Proceedings Citation Index-Science (CPCI-S), Conference Proceedings Citation Index-Social Science & Humanities (CPCI-SSH) — с 1990 г. по настоящее время; Book Citation Index-Science (BKCI-S), Book Citation Index-Social Sciences & Humanities (BKCI-SSH) — с 2005 г. по настоящее время и Emerging Sources Citation Index (ESCI) — с 2015 г. по настоящее время. Наиболее оптимальными для анализа массивов по узким научным направлениям, а также гуманитарным, по которым в WoS CC отражено не так много публикаций, оказались восьмилетние периоды, начиная с 1993—2000 и заканчивая 2010—2017 гг. Учитывались все типы публикаций. Из 252 предметных категорий WoS CC были проанализированы 132 (в том числе общественные науки и экономика), в которых доля российских публикаций в 2010—2017 гг. составляла не менее 0,4% общемировых потоков по соответствующим дисциплинам.

Нельзя не отметить, что в СССР науке уделялось серьёзное внимание и её финансирование поддерживалось на достойном уровне. Результат — высокие рейтинговые позиции страны среди других государств по количеству публикаций, охватывающих широкий спектр направлений научных исследований. Именно всеохватность этого спектра — характерная особенность советской, а впоследствии российской науки. После распада СССР в 1991 г. Россия ещё какое-то время продолжала занимать высокие позиции в мировом рейтинге по большому числу научных направлений. Так, в 1993—2000 гг. Россия входила в десятку наиболее продуктивных стран по 62 научным направлениям (из упоминавшихся 252, согласно WoS Categories). Начиная с 2000 г. стало наблюдаться снижение рейтинговых позиций России по всем направлениям, хотя и с разной степенью. Максимальное снижение наблюдалось в 2004—2014 гг., и только затем обозначилась некоторая

стабилизация. Период 2010—2017 гг. характеризовался постепенным ростом рейтингов по большинству научных направлений, несмотря на то, что он вобрал в себя несколько лет наибольшего спада. Следствием этого явилось повышение рейтинговых позиций, а в некоторых областях знания — восстановление прежних и возврат в Топ-5 стран по количеству публикаций в WoS CC (табл. 1).

В ходе проведённого исследования обозначился круг из 33 научных направлений, по которым Россия удерживалась в Топ-10 стран по количеству публикаций в WoS CC на протяжении всего постсоветского периода<sup>1</sup>. Мы видим, что по перечисленным в таблице 1 направлениям у России неплохие позиции, а по 8 направлениям по количеству публикаций она входит в Топ-5 стран. Однако по остальным областям знания ситуация несколько иная. Если в качестве индикатора принять упоминавшуюся долю в 2,44% в мировом потоке, которую обозначил Президент РФ в указе от 7 мая 2012 г. [1], то увидим, что этому показателю соответствовали массивы публикаций 2010—2017 гг. только по 40 научным направлениям. Интересно, что круг предметных категорий, по которым доля российских публикаций в мировом массиве соответствовала или была выше порога в 2,44%, практически идентичен перечню, представленному в таблице 1. Исключение — 5 направлений, которые соответствовали заданному уровню, но их рейтинговые позиции оказались ниже, чем у стран первой десятки: Engineering, Marine (судостроительная техника) — 3,08% (12 место в общемировом рейтинге), Logic (логика) — 3,6% (11 место), Meteorology & Atmospheric Sciences (метеорология и науки об атмосфере) — 4,08% (11 место), Zoology (зоология) — 3,06% (12 место). По направлению History (история — 1,74%) наблюдалась обратная ситуация: несмотря на то, что порог в 2,44% не был достигнут, тем не менее Россия вошла в десятку стран-лидеров по этому направлению, так как в нём долевым порог оказался ниже, чем в перечисленных выше научных областях. Общий итог представленности российских публикаций в 252 научных категориях WoS CC периода 2010—2017 гг. следующий: по 40 направлениям — 2,44% и выше, по 15 — от 2 до 2,43%, по 51 — от 1 до 1,99%, по 26 — от 0,4 до 0,99% и по 120 — менее 0,4%.

Если сравнить долю российских публикаций по различным предметным категори-

<sup>1</sup> Несмотря на то, что распад СССР датируется 1991 г., постсоветский публикационный поток России принято рассматривать лишь с 1993 г. ввиду растянутости во времени выхода подготовленных к печати работ примерно на 2 года.



**Таблица 1.** Научные направления, по которым Россия вошла в Топ-10 стран по количеству публикаций в WoS CC за 2010–2017 гг.

Научная категория в WoS CC (англ.)	Научная категория в WoS CC (перевод на русский язык)	Ранг России в общемировом публикационном потоке по направлениям
Engineering, Petroleum*	Техника, нефтепродукты*	3
Mining & Mineral Processing*	Горное дело и переработка минерального сырья*	4
Chemistry, Inorganic & Nuclear*	Неорганическая и ядерная химия*	5
Geology*	Геология*	5
Physics, Mathematical*	Математическая физика*	5
Physics, Nuclear*	Ядерная физика*	5
Physics, Particles & Fields*	Физика частиц и полей*	5
Spectroscopy*	Спектроскопия*	5
Chemistry, Organic*	Органическая химия*	6
Instruments & Instrumentation*	Инструменты и их применение*	6
Materials Science, Ceramics*	Материаловедение, керамика*	6
Materials Science, Characterization & Testing*	Материаловедение, характеристика и тестирование*	6
Mathematics*	Математика*	6
Metallurgy & Metallurgical Engineering*	Металловедение и металлургия*	6
Mineralogy*	Минералогия*	6
Optics*	Оптика*	6
Paleontology*	Палеонтология*	6
Physics, Fluids & Plasmas*	Физика жидкостей и плазмы*	6
Crystallography*	Кристаллография*	7
Geochemistry & Geophysics*	Геохимия и геофизика*	7
Mathematics, Applied*	Прикладная математика*	7
Physics, Condensed Matter*	Физика конденсированных сред*	7
Physics, Multidisciplinary*	Физика, междисциплинарные труды*	7
Physics, Applied*	Прикладная физика*	8
Thermodynamics*	Термодинамика*	8
Astronomy & Astrophysics*	Астрономия и астрофизика*	9
History	История	9
Materials Science, Multidisciplinary	Материаловедение, междисциплинарные труды	9
Materials Science, Textiles*	Материаловедение, текстиль*	9
Mechanics*	Механика*	9
Physics, Atomic, Molecular & Chemical*	Атомная, молекулярная и химическая физика*	9
Psychology, Educational	Педагогическая психология	9
Sociology	Социология	9
Chemistry, Physical	Физическая химия	10
Engineering, Aerospace	Авиационно-космическая техника	10
Geosciences, Multidisciplinary	Науки о Земле (геонауки), междисциплинарные труды	10
Nuclear Science & Technology	Ядерная физика и техника	10
Oceanography	Океанография	10
Soil Science	Почвоведение	10

\* Научные направления, по которым Россия входила в число первых 10 стран (Топ-10) по количеству публикаций в WoS CC на протяжении всего постсоветского периода (1992–2017 гг.)

ям за начальный (1993–2000 гг.) и современный (2010–2017 гг.) периоды, то обнаружится, что Россия нарастила своё участие в WoS CC по 51 направлению (табл. 2). Но позитивная динамика характерна не для всего научного поля. Мы видим (табл. 3), что ошутимое снижение (на 3% и более) по сравнению с 1993–2000 гг. наблюдалось в таких областях, как Imaging Science & Photographic Technology (наука о сборе, хранении, поиске и обработке любых видов визуальной информации и технология фотографии) – 5,26%; Electrochemistry (электрохимия) – 3,86%, Chemistry, Applied (прикладная химия) – 3,53%, Remote Sensing (дистанционные исследования) – 3,52%; Physics, Multidisciplinary (физика, междисциплинарные труды) – 3,48%, Materials Science, Characterization & Testing (материаловедение, характеристика и тестирование) – 3,36%; Mycology (микология) – 3,15%.

Четыре восьмилетних периода – 2004–2011, 2005–2012, 2006–2013 и 2007–2014 гг. – характеризовались наибольшим снижением доли российских публикаций практически по всем научным направлениям. Это время можно назвать "чёрным" для российской науки: по количеству публикаций в WoS CC Россия входила в двадцатку стран-лидеров только по 71 (из 252) научной категории, а по ряду направлений опускалась ниже 30-го, 40-го и даже 60-го места. Лишь начиная с 2010–2017 гг. наша страна стала наращивать свою долю по большинству научных направлений относительно периодов наибольшего упадка.

Тем не менее по 28 из 132 рассмотренных нами направлений восстановления до сих пор не наблюдается. России не удаётся пока вернуть прежние позиции по количеству публикаций в WoS CC в ряде областей, в которых она сегодня входит в Топ-10 стран: её рейтинговые пози-

**Таблица 2.** Научные направления, по которым доля российских публикаций в WoS CC за 2010–2017 гг. выросла по сравнению с 1993–2000 гг.

Научная категория в WoS CC (англ.)	Научная категория в WoS CC (перевод на русский язык)	Доля российских публикаций в общем мировом потоке, % (2010–2017 гг.)	Доля российских публикаций в общем мировом потоке, % (1993–2000 гг.)	Увеличение доли российских публикаций в WoS CC в 2010–2017 гг. по сравнению с 1993–2000 гг., %
Engineering, Petroleum	Техника, нефтепродукты	7,29	3,47	3,82
Mining & Mineral Processing	Горное дело и переработка минерального сырья	7,62	4,75	2,87
Language & Linguistics	Язык и лингвистика	1,89	0,31	1,58
Engineering, Industrial	Промышленная инженерия	2,08	0,54	1,54
Area Studies	Краеведение	1,79	0,33	1,46
Chemistry, Medicinal	Медицинская химия	1,95	0,51	1,44
Humanities, Multidisciplinary	Гуманитарные науки, междисциплинарные труды	1,45	0,06	1,39
Linguistics	Лингвистика	1,66	0,31	1,35
Logic	Логика	3,6	2,34	1,26
Mechanics	Механика	4,82	3,57	1,25
History & Philosophy of Science	История и философия науки	1,5	0,29	1,21
History	История	1,74	0,55	1,19
Law	Общее право	1,25	0,06	1,19
Social Sciences, Interdisciplinary	Общественные науки, междисциплинарные труды	1,87	0,79	1,08

Engineering, Marine	Судостроительная техника	3,08	2,07	1,01
Urban Studies	Урбанистика	1,2	0,19	1,01
Mineralogy	Минералогия	7,63	6,72	0,91
Education & Educational Research	Образование и образовательные исследования	1,32	0,42	0,9
Economics	Экономика	1,41	0,52	0,89
History of Social Sciences	История общественных наук	0,87	0,07	0,8
Geology	Геология	6,12	5,47	0,65
Engineering, Geological	Геологическая инженерия	2,18	1,53	0,65
Mathematics, Applied	Прикладная математика	3,9	3,34	0,56
Marine & Freshwater Biology	Биология морской и пресной воды	2,13	1,57	0,56
Operations Research & Management Science	Анализ операций и наука об управлении	1,48	0,93	0,55
Engineering, Mechanical	Техника, механическое оборудование	1,83	1,34	0,49
Philosophy	Философия	1,44	0,98	0,46
Engineering, Manufacturing	Производственная инженерия	1,01	0,58	0,43
Computer Science, Hardware & Architecture	Информатика, оборудование и архитектура	0,69	0,28	0,41
Astronomy & Astrophysics	Астрономия и астрофизика	7,46	7,1	0,36
Information Science & Library Science	Теория информации и библиотечное дело	0,64	0,29	0,35
Telecommunications	Телекоммуникации	1,46	1,11	0,35
Political Science	Политология	0,61	0,31	0,3
Hematology	Гематология	1,2	0,9	0,3
Social Sciences, Mathematical Methods	Общественные науки, математические методы	1,02	0,73	0,29
Cardiac & Cardiovascular Systems	Кардиология и сердечно-сосудистая система	1,36	1,09	0,27
Engineering, Ocean	Океанографическая техника	2,1	1,85	0,25
Chemistry, Organic	Органическая химия	5,34	5,11	0,23
Psychology, Biological	Биологическая психология	1,85	1,63	0,22
Psychology, Multidisciplinary	Психология, мультидисциплинарные труды	1,75	1,53	0,22
Zoology	Зоология	3,06	2,85	0,21
Evolutionary Biology	Эволюционная биология	2,2	2,04	0,16
Computer Science, Interdisciplinary Applications	Информатика, междисциплинарные приложения	1,26	1,11	0,15
Psychology	Психология	0,99	0,87	0,12
Behavioral Sciences	Поведенческие науки	0,73	0,67	0,06
Engineering, Chemical	Химическая инженерия	2,16	2,11	0,05
Ecology	Экология	1,77	1,72	0,05
Nanoscience & Nanotechnology	Нанонаука и нанотехнология	2,38	2,34	0,04
International Relations	Международные отношения	0,7	0,67	0,03
Computer Science, Software Engineering	Информатика, разработка программного обеспечения	0,88	0,86	0,02

*Примечание:* по 81 из 132 исследованных областей доля уменьшилась или осталась на прежнем уровне (см. табл. 3).



**Таблица 3.** Научные направления, по которым доля российских публикаций в WoS CC в 2010–2017 гг. снизилась по сравнению с 1993–2000 гг.

Научная категория в WoS CC (англ.)	Научная категория в WoS CC (перевод на русский язык)	Доля российских публикаций в общем потоке, % (2010–2017 гг.)	Доля российских публикаций в общем потоке, % (1993–2000 гг.)	Уменьшение доли российских публикаций в WoS CC в 2010–2017 гг. по сравнению с 1993–2000 гг., %
Imaging Science & Photographic Technology	Наука о сборе, хранении, поиске и обработке любых видов визуальной информации и технология фотографии	0,88	6,14	-5,26
Electrochemistry	Электрохимия	1,99	5,85	-3,86
Chemistry, Applied	Прикладная химия	1,97	5,5	-3,53
Remote Sensing	Дистанционные исследования	1,12	4,64	-3,52
Physics, Multidisciplinary	Физика, междисциплинарные труды	5,6	9,08	-3,48
Materials Science, Characterization & Testing	Материаловедение, характеристика и тестирование	4,21	7,57	-3,36
Mycology	Микология	1,57	4,72	-3,15
Chemistry, Physical	Физическая химия	3,62	6,36	-2,74
Nuclear Science & Technology	Ядерная наука и технологии	4,77	7,33	-2,56
Acoustics	Акустика	2,38	4,82	-2,44
Instruments & Instrumentation	Инструменты и их применение	5,09	7,44	-2,35
Polymer Science	Наука о полимерах	1,94	4,29	-2,35
Chemistry, Inorganic & Nuclear	Неорганическая и ядерная химия	6,46	8,78	-2,32
Paleontology	Палеонтология	7,46	9,71	-2,25
Metallurgy & Metallurgical Engineering	Металловедение и металлургия	5,15	7,4	-2,25
Optics	Оптика	4,49	6,72	-2,23
Materials Science, Textiles	Материаловедение, текстиль	2,85	5,02	-2,17
Physics, Applied	Прикладная физика	5,1	7,19	-2,09
Spectroscopy	Спектроскопия	5,98	8,02	-2,04
Geochemistry & Geophysics	Геохимия и геофизика	6,28	8,23	-1,95
Computer Science, Cybernetics	Информатика, кибернетика	2,14	4,07	-1,93
Physics, Condensed Matter	Физика конденсированных сред	6,22	8,1	-1,88
Oceanography	Океанография	4,29	6,16	-1,87
Chemistry, Multidisciplinary	Химия, мультидисциплинарные труды	2,22	4,03	-1,81
Materials Science, Multidisciplinary	Материаловедение, мультидисциплинарные труды	2,51	4,3	-1,79
Physics, Nuclear	Ядерная физика	9,81	11,57	-1,76
Geography, Physical	Физическая география	1,8	3,48	-1,68
Mathematical & Computational Biology	Математическая и вычислительная биология	1,01	2,63	-1,62
Crystallography	Кристаллография	4,64	6,19	-1,55
Medicine, Research & Experimental	Исследовательская и экспериментальная медицина	1,69	3,21	-1,52
Chemistry, Analytical	Аналитическая химия	1,84	3,3	-1,46
Energy & Fuels	Энергия и топливо	1,63	3,04	-1,41

Soil Science	Почвоведение	3,91	5,3	-1,39
Virology	Вирусология	0,75	2,08	-1,33
Engineering, Biomedical	Биомедицинская инженерия	0,59	1,86	-1,27
Materials Science, Composites	Материаловедение, композитные материалы	1,41	2,63	-1,22
Physics, Fluids & Plasmas	Физика жидкостей и плазмы	6,91	8,03	-1,12
Pathology	Патология	0,5	1,53	-1,03
Automation & Control Systems	Автоматизация и системы управления	1,97	2,94	-0,97
Engineering, Multidisciplinary	Техника, междисциплинарные труды	2,15	3	-0,85
Meteorology & Atmospheric Sciences	Метеорология и науки об атмосфере	4,08	4,92	-0,84
Biophysics	Биофизика	2,39	3,22	-0,83
Sociology	Социология	2,01	2,82	-0,81
Genetics & Heredity	Генетика и наследственность	1,49	2,23	-0,74
Materials Science, Coatings & Films	Материаловедение, покрытия и плёнки	2,01	2,72	-0,71
Geography	География	1,22	1,89	-0,67
Psychology, Educational	Психология в образовании	2,35	3,02	-0,67
Geosciences, Multidisciplinary	Геонауки, мультидисциплинарные труды	4,37	5,01	-0,64
Engineering, Environmental	Экологическая инженерия	0,61	1,24	-0,63
Physics, Atomic, Molecular & Chemical	Атомная, молекулярная и химическая физика	4,78	5,4	-0,62
Microscopy	Микроскопия	1,4	1,9	-0,5
Statistics & Probability	Статистика и теория вероятности	1,27	1,76	-0,49
Physics, Particles & Fields	Физика частиц и полей	10,71	11,18	-0,47
Environmental Sciences	Науки об окружающей среде	0,74	1,2	-0,46
Computer Science, Artificial Intelligence	Информатика, искусственный интеллект	1,07	1,52	-0,45
Engineering, Aerospace	Авиационно-космическая техника	2,82	3,24	-0,42
Engineering, Electrical & Electronic	Электротехника и электроника	1,62	2,03	-0,41
Medicine, General & Internal	Общая и терапевтическая медицина	0,63	1,02	-0,39
Microbiology	Микробиология	1,15	1,51	-0,36
Physics, Mathematical	Математическая физика	7	7,35	-0,35
Thermodynamics	Термодинамика	3,84	4,18	-0,34
Biotechnology & Applied Microbiology	Биотехнология и прикладная микробиология	0,97	1,28	-0,31
Materials Science, Ceramics	Материаловедение, керамика	5,08	5,36	-0,28
Cell Biology	Клеточная биология	0,85	1,08	-0,23
Biochemical Research Methods	Биохимические методы исследований	0,97	1,2	-0,23
Psychiatry	Психиатрия	0,96	1,16	-0,2
Neurosciences	Нейронауки	0,93	1,12	-0,19
Materials Science, Biomaterials	Материаловедение, биоматериалы	0,94	1,12	-0,18
Mathematics	Математика	4,47	4,64	-0,17
Forestry	Лесное хозяйство	0,63	0,78	-0,15
Biology	Биология	1,68	1,82	-0,14
Psychology, Experimental	Экспериментальная психология	1,05	1,19	-0,14
Physiology	Физиология	1,88	2	-0,12
Computer Science, Theory & Methods	Информатика, теория и методы	1,53	1,62	-0,09
Plant Sciences	Науки о растениях	1,24	1,32	-0,08
Mathematics, Interdisciplinary Applications	Математика, междисциплинарные приложения	1,9	1,97	-0,07
Computer Science, Information Systems	Информатика, информационные системы	0,88	0,91	-0,03
Materials Science, Paper & Wood	Материаловедение, бумага и дерево	0,43	0,46	-0,03
Biochemistry & Molecular Biology	Биохимия и молекулярная биология	1,98	2,01	-0,03
Water Resources	Водные ресурсы	1,11	1,14	-0,03
Geriatrics & Gerontology	Гериатрия и геронтология	0,47	0,48	-0,01

ции в 1993–2000 гг. были в этих областях выше, а в некоторых случаях — значительно выше. Например, по направлению Engineering, Aerospace (авиационно-космическая техника) ранговая позиция России с 3 места опустилась до 10; в области Geosciences, Multidisciplinary (науки о Земле, мультидисциплинарные труды) — с 6 до 10, Nuclear Science & Technology (ядерная физика и техника) — с 4 до 10, Oceanography (океанография) — с 5 до 10, Physics, Applied (прикладная физика) — с 4 до 8.

Ещё более выражено снижение рейтинговых позиций России в общемировом потоке в такой области, как Chemistry, Applied (прикладная химия) — с 5 до 16 места и пока это снижение не прекращается. Аналогичная ситуация наблюдается в Electrochemistry (электрохимия) — с 5 места в 1993–2000 гг. до 14 в 2010–2017 гг., и здесь падение продолжается. Похожая картина складывается и в области Polymer Science (наука о полимерах) — с 7 на 17 место (стабилизации пока нет). В области Remote Sensing (дистанционные исследования) произошло падение с 5 на 22 место (стабилизации также не наблюдается).

Как уже говорилось, в 2010–2017 гг. отмечался рост публикационной активности практически по всем научным направлениям, причём этот процесс продолжается. Если за восьмилетний период 2010–2017 гг. показатель в 2,44% общемирового потока был достигнут лишь по 40 научным направлениям, то в отдельно взятом 2017 г. он был превзойдён уже по 82 из 252 предметных категорий "Web of Science Categories". Несомненную положительную роль в увеличении доли российских публикаций в WoS CC после 2015 г. сыграла база данных "Emerging Sources Citation Index", значительно расширившая репертуар индексируемых в Core Collection российских изданий, особенно по общественным наукам [27].

Если же рассматривать массив российских публикаций в WoS CC за отдельно взятый 2017 г. без тематической дифференциации, то увидим, что на его долю приходилось 2,56% (77 081) мирового потока публикаций (3 005 145). Это соответствует 13 месту в общемировом рейтинге. С учётом того, что в 2011, 2012 и 2013 гг. Россия занимала в нём 17 место, приведённые данные, несомненно, позитивны. Однако для восстановления прежних позиций — 8 место, которое Россия удерживала в 1993–1999 гг., — потребуется, видимо, не один год.

Заметим, что для вхождения в первую десятку стран по количеству публикаций в 1993–2000 гг. было достаточно доли в 2,44% (как и в указе Президента РФ 2012 г.), однако начиная с 2015 г. и по настоящее время для сохранения ранговых позиций в общемировом рейтинге эта доля долж-

на быть около 3,56%. Если говорить о вхождении в пятёрку стран-лидеров, то доля российских публикаций на ноябрь 2018 г. должна была бы составлять не менее 4,3%, что примерно соответствует обозначенной указом Президента РФ 2018 г. цели в 5%. Однако, исходя из анализа публикационной активности предыдущих лет, достигнуть этих показателей к 2024 г. будет весьма непросто.

На момент подготовки этой статьи пятёрка стран-лидеров по количеству публикаций в 2017 г. без дифференциации по тематическим направлениям выглядела следующим образом: США — 749 175 публикаций (24,92%), Китай — 468 060 (15,57%), Соединённое Королевство (Великобритания и Северная Ирландия) — 223 072 (7,42%), Германия — 176 260 (5,86%), Индия — 127 811 (4,25%). На долю остальных стран приходилось 41,97% (1 261 638).

Подведём итоги. Осуществлённое исследование показало, что на современном этапе наблюдается постепенное восстановление Россией ранее утраченных позиций в общемировом рейтинге стран по количеству публикаций в WoS CC. Эти позитивные изменения наблюдаются как для российского массива публикаций в целом, так и с дифференциацией по научным направлениям. Наивысшие ранговые позиции по количеству публикаций в WoS CC у России были в 1993–1999 гг. — 8 место. Наибольший спад наблюдался в 2004–2011, 2005–2012, 2006–2013 и 2007–2014 гг. В эти годы доля российских публикаций в мировом потоке практически по всем научным направлениям опускалась до минимальных значений. Правда, отчасти снижение вызвано изменениями в политике индексирования российских журналов компанией Thomson Reuters (сейчас — Clarivate Analytics) [28]. В 2011–2013 гг. наша страна занимала лишь 17 место в общемировом рейтинге по общему числу публикаций, представленных в WoS CC (весь массив). С 2014 г. началось постепенное восстановление утраченных позиций, и в 2017 г. Россия занимала уже 13 место в мире. Однако восстановить уровень 1993–1999 гг. пока не удалось, хотя по 51 научному направлению доля в мировом потоке увеличилась по сравнению с тем периодом. Наиболее ощутимо это проявилось в таких направлениях, как Engineering, Petroleum (техника, нефтепродукты); Mining & Mineral Processing (горное дело и переработка минерального сырья); Language & Linguistics (язык и лингвистика); Engineering, Industrial (промышленная инженерия); Area Studies (регионоведение); Chemistry, Medicinal (медицинская химия) (табл. 2). Наблюдаемые позитивные изменения позволяют надеяться на скорое вхождение России в десятку ведущих стран, чьи публикации отражены в WoS CC.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента РФ от 7 мая 2012 г. № 599 "О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки" [Электронный ресурс] // Российская газета. Столичный выпуск. 2012. № 5775(102). <https://rg.ru/2012/05/09/nauka-dok.html> (дата обращения 03.12.2018).
2. Городникова Н.В., Гохберг Л.М., Дитковский К.А. и др. Индикаторы науки: 2018. Статистический сборник. М.: НИУ ВШЭ, 2018.
3. Власова В.В., Гохберг Л.М., Дьяченко Е.Л. и др. Российская наука в цифрах. М.: НИУ ВШЭ, 2018.
4. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года" [Электронный ресурс] // <http://kremlin.ru/events/president/news/57425> (дата обращения 03.12.2018).
5. Указ Президента РФ № 899 от 7 июля 2011 г. "Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации" [Электронный ресурс] // [http://fcpir.ru/upload/medialibrary/cd3/ukaz\\_prezidenta.pdf](http://fcpir.ru/upload/medialibrary/cd3/ukaz_prezidenta.pdf) (дата обращения 03.12.2018).
6. Медведев Ю. Прорваться в пятерку [Электронный ресурс] // Российская газета. Федеральный выпуск. 2018. № 7665(202). <https://rg.ru/2018/09/11/nasproekt-nauka-poiavilsia-v-rossii.html> (дата обращения 03.12.2018).
7. Бутрин Д. Наука концентрации внимания [Электронный ресурс] // Газета Коммерсантъ. 2018. 8 ноября. <https://www.kommersant.ru/doc/3688368> (дата обращения 03.12.2018).
8. Маршакова-Шайкевич И.В. Россия в мировой науке: библиометрический анализ. М.: ИФРАН, 2008.
9. Вилсон К.С., Маркусова В.А. Опыт сравнительного анализа научной продуктивности России с другими странами за 1980-2000 гг. // Международный форум по информации. 2004. Т. 29. № 2. С. 23-34.
10. Маркусова В.А. Публикационная активность российских учёных по БД SCI и Scopus // Научно-техническая информация. Сер. 1. Организация и методика информационной работы. 2008. № 5. С. 21-27.
11. Маркусова В.А., Соколов А.В., Либкинд А.Н., Минин В.А. Сравнение научной продуктивности учёных России и других стран Большой восьмёрки // Научно-техническая информация. Сер. 1. Организация и методика информационной работы. 2006. № 6. С. 18-27.
12. Маркусова В., Котельникова Н., Золотова А., Шухаева А. Перспективные направления научных исследований: мировые и отечественные тенденции по БД SCI-E, 2009 и 2015 гг. // Информация и инновации. 2017. № S. С. 111-118.
13. Moed H.F., Markusova V., Akoev M. Trends in Russian research output indexed in Scopus and Web of Science // Scientometrics. 2018. V. 116. № 2. P. 1153-1180.
14. Guskov A.E., Kosyakov D.V., Selivanova I.V. Boosting research productivity in top Russian universities: the circumstances of breakthrough // Scientometrics. 2018. V. 117. № 2. P. 1053-1080.
15. А.И. Земсков. Библиометрия: взгляд на проблему. Сравнение уровня цитирования научных статей в разных странах // Научные и технические библиотеки. 2014. № 9. С. 22-44.
16. Мохначева Ю.В., Харыбина Т.Н. Научная продуктивность учреждений РАН и вузов: сравнительный библиометрический анализ // Вестник РАН. 2011. № 12. С. 1065-1070.
17. Балуткина Н.А., Бусыгина Т.В., Зибарева И.В., Лаврик О.Л. Библиометрический анализ публикаций учреждений СО РАН по нанотехнологиям на основе библиографической базы данных собственной генерации // Труды ГПНТБ СО РАН. 2015. № 9. С. 37-54.
18. Терехов А.И. Библиометрический анализ углеродного направления нанотехнологий: 2000-2015 // Экономика науки. 2017. № 3(4). С. 262-274.
19. Боргоякова К.С., Бычкова Е.Ф., Земсков А.И., Кондрашёва И.Ю. Библиометрический анализ научных публикаций по экологии на основе реферативной базы данных "Экология: наука и технологии" ГПНТБ России // Научные и технические библиотеки. 2017. № 10. С. 54-68.
20. Мохначева Ю.В., Цветкова В.А. Оценка публикационной активности научных организаций на основе баз данных Web of Science Core Collection, Scopus и РИНЦ (на примере медико-биологической тематики) // Научно-техническая информация. Сер. 1. Организация и методика информационной работы. 2017. № 12. С. 17-24.
21. Зибарева И.В. Библиометрический анализ российских химических исследований начала XXI в. (2001-2005 гг.) // Труды ГПНТБ СО РАН. 2011. № 1. С. 150-156.
22. Мизинцева М., Королёва Л. Мировые тенденции в области генерации знаний // Информация и инновации. 2017. № S. С. 119-125.
23. Web of Science Core Collection [Электронный ресурс] // <https://apps.webofknowledge.com/> (дата обращения 03.12.2018).
24. Справка по Web of Science Core Collection. "Категории Web of Science" // [https://images.webofknowledge.com/WOKRS530JR6/help/ru\\_RU/WOS/hp\\_subject\\_category\\_terms\\_tasca\\_RU.html](https://images.webofknowledge.com/WOKRS530JR6/help/ru_RU/WOS/hp_subject_category_terms_tasca_RU.html) (дата обращения 03.12.2018).
25. Справка по Web of Science Core Collection. "Области исследований" (категории/классификация). // [https://images.webofknowledge.com/WOKRS530JR6/help/ru\\_RU/WOS/hp\\_research\\_areas\\_easca.html](https://images.webofknowledge.com/WOKRS530JR6/help/ru_RU/WOS/hp_research_areas_easca.html) (дата обращения 03.12.2018).

26. Мохначева Ю.В. Классификационные схемы в Web of Science CC // Информация и инновации. 2018. № 3. С. 43-52.
27. Список журналов, входящих в Emerging Sources Citation Index. <http://mjl.clarivate.com/cgi-bin/jrnlst/jlresults.cgi?PC=EX> (дата обращения 11.12.2018).
28. Либкинд А.Н., Маркусова В.А., Миндели Л.Э. Библиометрические характеристики российских научных журналов по естественным и техническим наукам по БД JCR-Science Edition, 1995-2010 гг. // Acta naturae. 2013. № 3. С. 6-13.

## RUSSIA IN THE WORLD ARRAY OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS

© 2019 Yu.V. Mokhnacheva, V.A. Tsvetkova

*Library for Natural Sciences RAS, Moscow, Russia*

\*E-mail: [jvm@benran.ru](mailto:jvm@benran.ru); \*\*E-mail: [vats08@mail.ru](mailto:vats08@mail.ru)

Received 03.12.2018

Revised version received 26.12.2018

Accepted 25.03.2019

This article presents the results of a study on the representation of Russian publications in the global array of publications that discuss narrow thematic areas within the entire post-Soviet period, using ranking distributions from the Web of Science Core Collection (WoS CC). For extraction and analysis, the classifiers provided by the WoS categories were used. Of the 252 subject categories in the WoS CC, the share of Russian publications for 2010–2017 was not less than 0.4% of the global flow in 132 scientific areas. Therefore, in the period 1993–2000, a gradual recovery was found of Russia's lost position in the world ranking of countries by number of publications in the WoS CC. Currently, positive changes have been observed both for the entire array of Russian publications in particular in narrow scientific topics. The highest-ranking position for Russian publications fell in 1993–1999, and the greatest decline, when the share of Russian publications fell to their minimum values, was in 2011–2014. Data on the scientific areas in which Russia managed to stay in the top 10 leading countries during its recent history, according to share of publications in the global array, are presented. This list slightly expanded from 2010 to 2017, and today, it includes 39 areas in which Russia is in the top 10 countries, and it is among the five leading countries in eight areas of knowledge.

**Keywords:** science in Russia, publication activity, Web of Science Core Collection, bibliometry, Russian publication area, scientometrics, scientific research area, WoS categories, country rankings.

---

ПРОБЛЕМЫ  
ЭКОЛОГИИ

---

**МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЧНЫХ НАВОДНЕНИЙ**

© 2019 г. В.А. Зеленцов<sup>1,\*</sup>, А.М. Алабян<sup>1,2,3,\*\*</sup>, И.Н. Крыленко<sup>1,2,3,\*\*\*</sup>,  
И.Ю. Пиманов<sup>1,\*\*\*\*</sup>, М.Р. Пономаренко<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>, С.А. Потрясаев<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>,  
А.Е. Семёнов<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>, В.А. Соболевский<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>,  
Б.В. Соколов<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>, Р.М. Юсупов<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup>Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

\*E-mail: v.a.zelentsov@gmail.com; \*\*E-mail: andrei\_alabyan@mail.ru; \*\*\*E-mail: krylenko\_i@mail.ru;

\*\*\*\*E-mail: pimen@list.ru; \*\*\*\*\*E-mail: pnmry@yandex.ru; \*\*\*\*\*E-mail: spotryasaev@gmail.com;

\*\*\*\*\*E-mail: sasfeat@mail.ru; \*\*\*\*\*E-mail: arguzd@yandex.ru; \*\*\*\*\*E-mail: sokol@iias.spb.su;

\*\*\*\*\*E-mail: yusupov@iias.spb.su

Поступила в редакцию 22.08.2018 г.

Поступила после доработки 20.11.2018 г.

Принята к публикации 17.02.2019 г.

В статье представлены результаты разработки и тестирования системы оперативного прогнозирования речных наводнений, которая базируется на использовании комплекса гидрологических и гидродинамических моделей, а также наземных и спутниковых данных, и реализована на основе сервис-ориентированной архитектуры. Отличительная особенность системы — полная автоматизация всего цикла моделирования — от загрузки исходных данных до интерпретации результатов, визуализации и оповещения заинтересованных лиц. Теоретической основой обеспечения согласованного функционирования всех компонентов системы является разрабатываемая авторами статьи квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. Практическая реализация выполнена с помощью открытых кодов и свободно распространяемого программного обеспечения. Результаты тестирования свидетельствуют о возможности широкого внедрения подобных систем в деятельность территориальных органов власти и служб по чрезвычайным ситуациям.

**Ключевые слова:** наводнения, комплексное моделирование, оперативное прогнозирование, сервис-ориентированная архитектура, искусственные нейронные сети, гидродинамические модели, геоинформационные системы.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-5873898831-843>

В 2016 г. авторы данной статьи опубликовали в журнале "Вестник РАН" [1] описание подхода к созданию интеллектуальных информационных систем оперативного прогнозирования речных на-

воднений, основанного на применении комплекса гидрологических и гидродинамических моделей. Принципиальными особенностями предложенного подхода являются включение в создаваемую си-

---

ЗЕЛЕНЦОВ Вячеслав Алексеевич — доктор технических наук, главный научный сотрудник СПИИРАН. АЛАБЯН Андрей Михайлович — кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии суши Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. КРЫЛЕНКО Инна Николаевна — кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры гидрологии суши Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. ПИМАНОВ Илья Юрьевич — младший научный сотрудник СПИИРАН. ПОНОМАРЕНКО Мария Руслановна — младший научный сотрудник СПИИРАН. ПОТРЯСАЕВ Семён Алексеевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник СПИИРАН. СЕМЁНОВ Александр Евгеньевич — младший научный сотрудник СПИИРАН. СОБОЛЕВСКИЙ Владислав Алексеевич — младший научный сотрудник СПИИРАН. СОКОЛОВ Борис Владимирович — доктор технических наук, руководитель лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании СПИИРАН. ЮСУПОВ Рафаэль Мидхатович — член-корреспондент РАН, научный руководитель СПИИРАН.



стему апробированных математических моделей, описывающих водосбор и движение воды по руслу реки, комплексное использование наземных и аэрокосмических данных при моделировании, а также максимальная автоматизация всех этапов моделирования — от сбора и загрузки исходных данных до анализа потенциального ущерба и оповещения заинтересованных лиц.

Именно модельно-ориентированный подход, обеспечивающий высокоточную оценку границ затоплений и уровней подъёма воды с учётом конкретных условий распространения водного потока, принципиально отличает рассматриваемые задачи построения системы *прогнозирования* от задач *мониторинга* наводнений, фиксирующих границы зон уже состоявшихся затоплений, и задач *геоинформационного моделирования*, позволяющих оценивать возможные границы зон разлива воды при тех или иных потенциально возможных уровнях её подъёма. При этом под термином "оперативный" подразумевается краткосрочный, на 12–48 ч вперёд, прогноз зон и глубин затоплений на конкретных участках речных долин.

К настоящему времени выполнены полнофункциональная реализация прототипа системы и её тестирование в период весеннего половодья 2018 г. на р. Северная Двина. Мы опишем наиболее важные аспекты применения предложенной технологии и решения теоретических и прикладных проблем.

Проведение исследований по созданию систем оперативного прогнозирования наводнений не теряет актуальности. Частота возникновения и тяжесть последствий данного вида чрезвычайных ситуаций остаётся высокой. В России ежегодно происходит 40–70 крупных наводнений. По данным Росгидромета, этим стихийным бедствиям подвержены около 500 тыс. км<sup>2</sup>, наводнениям с катастрофическими последствиями — 150 тыс. км<sup>2</sup>, а это порядка 300 городов, десятки тысяч населённых пунктов, большое количество хозяйственных объектов, более 7 млн га сельхозугодий. Среднегодовой ущерб от наводнений оценивается примерно в 40 млрд руб. [2]. Согласно исследованию ФГБУ "ВНИИ гидрометеорологической информации — Мировой центр данных", суммарно число опасных гидрологических явлений (наводнений, паводков и селей) за первое десятилетие XXI в. в России выросло в 1,5 раза по сравнению с 1990-ми годами [2]. В то же время по-прежнему наблюдается дефицит разработок и прикладных систем, позволяющих оперативно, просто и наглядно предоставлять лицам, принимающим решения, максимально достоверную информацию о будущем развитии опасных ситуаций.

Характеризуя состояние разработки технологий и систем оперативного прогнозирования наводнений, необходимо отметить следующие три фактора.

Во-первых, международное сообщество активно разрабатывает информационные системы и сервисы для мониторинга и прогнозирования наводнений, развивает функциональность гидродинамических моделей Mike 11, Mike 21 Датского гидрологического института [3], Delft 3D Института Deltares (г. Дельфт, Нидерланды) [4], HEC-RAS Американского корпуса военных инженеров [5], LISFLOOD [6] и др. К наиболее известным зарубежным информационным системам, предполагающим использование математических моделей, относятся: Система предупреждения о наводнениях (Flood Early Warning Systems — FFWS) [7], североамериканская National Water Model (NWM) [8], Европейская система предупреждения о наводнениях (European Flood Awareness System — EFAS), базирующаяся на модели LISFLOOD [9], и некоторые другие. Эти системы ориентированы на территории североамериканских и европейских стран и имеют достаточно развитую сеть станций и постов наблюдения — источников гидрологических и метеорологических данных. Для прогнозирования ситуаций на российских реках требуется более полный учёт ряда особенностей, а именно, разрежённости сети гидрометеорологических наблюдений, возникновения ледовых заторов, отсутствия высокодетальных цифровых моделей рельефа для потенциально опасных речных долин.

В последнее время проведена разработка ряда новых сервисов, основанных на данных дистанционного зондирования Земли, в частности:

- Copernicus Emergency Management Service, включающий модули Copernicus EMS — Mapping и Global Flood Awareness Systems (GloFAS);
- Thematic Exploitation Platform — Hydrology (TEP Hydrology), включающий сервис мониторинга наводнений Flood Monitoring Service.

Однако, как и прежде, существующие сервисы не предполагают использования математических моделей, наиболее адекватно учитывающих особенности российских рек, и ориентированы в основном на мониторинг и прогнозирование стока, а не на оперативное прогнозирование речных наводнений.

Для расчёта зон затопления и движения водного потока по затопленной пойме в России наибольшее распространение получили гидродинамические модели класса STREAM 2D (ранее известные как Flood и River), разработанные под руководством А.Н. Милитеева и В.В. Беликова [10]. Они оснащены всеми необходимыми компонентами для учёта особенностей российских рек и, несмотря на хорошие результаты апробации на ряде ключевых участков российских территорий, сейчас могут использоваться в основном специалистами-гидрологами и для решения частных задач моделирования из-за недостаточ-

ной проработки вопросов автоматизации получения и обработки исходных данных, локальности исполнения и других информационно-технологических ограничений. Существуют примеры реализации отдельных проектов, внедряющих математические прогнозные модели гидрологического режима рек в период паводка или половодья, отдельные случаи применения автоматизированных и автоматических систем сбора гидрологической информации [11]. Однако зачастую разработчики программно-инструментальных средств ориентировались на проприетарное достаточно сложное программное обеспечение (ПО) — ArcGIS и др. — или определённые стандарты обмена информацией [12], что обуславливает сильные ограничения по масштабированию полученных решений.

Свободно распространяемые программные средства моделирования наводнений представлены лишь серией приложений Американского корпуса военных инженеров (HEC-RAS, HEC-GeoRAS, HEC-HMS, HEC-GeoHMS). Бесплатные решения с закрытым исходным кодом (например, Flood Modeller [13]) имеют строгие ограничения по функциональности и размерности обрабатываемых данных.

Во-вторых, данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) как один из основных источников информации о фактических границах русел рек и зон затоплений становятся всё более доступными и удобными. Практические шаги к широкому использованию этого типа данных предпринимает, в частности, Европейское космическое агентство, развивая технологии оперативного применения данных группировки оптических и радарных спутников семейства Sentinel. Качество данных с отечественных группировок космических аппаратов "Канопус-В" и "Ресурс-П", которыми активно пользуются службы МЧС России, также повышается, и они всё чаще задействуются для мониторинга наводнений. В рамках международных соглашений, в частности, Международной хартии по космосу и крупным катастрофам, существует возможность использования ресурса оперативной спутниковой съёмки для всех участников хартии (15 организаций, включая национальные и международные космические агентства) при возникновении чрезвычайных ситуаций. Кроме того, бурное развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), соответствующей аппаратуры съёмки и программно-инструментальных средств обработки снимков с БПЛА также приводит к расширению потенциального состава данных, которые могут привлекаться для повышения точности моделирования и прогнозирования границ зон затоплений.

Существует ряд отечественных и зарубежных работ [14, 15] по автоматизации построения границ зон затоплений на основе обработки материалов ДЗЗ и наземных данных, однако вопросы применения полученных результатов в комплексных системах моделирования наводнений остаются в целом открытыми.

В-третьих, практически повсеместно в Российской Федерации и за рубежом разрабатываются информационные технологии и соответствующие программные средства с целью интеграции разнородных информационных ресурсов, основанные на использовании свободно распространяемого программного обеспечения и открытых программных кодов, включая геоинформационные системы — неотъемлемый компонент систем прогнозирования наводнений (CARTO, NextGIS, MapBox, Urbica). Современные технологии в этой области позволяют создавать упрощённые средства взаимодействия пользователей со сложными системами [16], но пока недостаточно примеров применения современных информационных технологий и программных продуктов для полной автоматизации всего цикла моделирования наводнений — от сбора и обработки наземно-аэрокосмических данных до публикации результатов и оповещения заинтересованных лиц и организаций.

В целом анализ разработок систем оперативного прогнозирования наводнений показал, что пока не преодолен разрыв между разработчиками гидрологических и гидродинамических моделей, специалистами в области разработки информационных технологий и программно-инструментальных средств обработки разнородных данных, а также специалистами-практиками, которые ещё не могут оперативно использовать результаты математического моделирования в силу недостаточной автоматизации систем прогнозирования и отсутствия удобных и простых средств взаимодействия с моделирующими комплексами. Предлагаемые в настоящей статье технология и соответствующая система оперативного прогнозирования направлены на устранение данного разрыва.

**Общая структура и технологический состав модельно-ориентированной системы оперативного прогнозирования наводнений на базе сервис-ориентированной архитектуры.** В основу предлагаемой технологии автоматизированного оперативного прогнозирования наводнений положена концепция многомодельного описания сложных природных объектов с реализацией механизма выбора и адаптации (структурной и параметрической) параметров наиболее адекватной модели для каждой конкретной ситуации [1, 17]. Концепция развивается в рамках нового научного направления — квалиметрии моделей и полимодельных комплексов.

В данной концепции применительно к речным наводнениям первоочередное значение имеет тот факт, что, как правило, нет универсальной модели, пригодной для описания процессов развития наводнений на различных по протяжённости и конфигурации участках рек. При выборе гидродинамических моделей для прогнозирования наводнений целесообразна реализация много-модельного подхода: в зависимости от протяжённости участка мониторинга и наличия исходной информации возможен выбор между одномерными гидродинамическими моделями для протяжённых (100–1000 км) участков и двумерными — для участков речных долин длиной менее 100 км при большой ширине русел и пойм, их сложной конфигурации, наличии различных сооружений в руслах и поймах [1]. Опыт показывает, что существенной экономии сил и средств при исследовании и мониторинге протяжённых речных объектов можно достичь путём совместного (гибридного, комплексного, многомасштабного) расчёта по одномерной и двумерной моделям.

Общая архитектура модельно-ориентированной системы оперативного прогнозирования наводнений приведена на рисунке 1. В качестве базового подхода при построении системы использована сервис-ориентированная архитектура (СОА) [16, 18], которая обеспечивает гибкое взаимодействие программных модулей, реализующих гидродинамические и гидрологические модели, модулей сбора и обработки разнородных данных, в том числе получаемых с гидропостов и космиче-

ских аппаратов ДЗЗ, управляющих модулей и т. д. При этом все компоненты системы реализуются как веб-сервисы, они могут быть территориально распределены и локализованы в различных учреждениях, городах и странах.

Наиболее принципиальные вопросы при реализации СОА — способ подключения разнородных модулей и организация их взаимодействия при функционировании системы. По первому вопросу необходимо отметить, что СОА не предписывает никакого способа организации информационного потока между множеством сервисов, кроме соединения приложений по принципу "точка—точка". Такое взаимодействие приводит к стремительному росту сложности системы при добавлении новых участников. Вместо этого целесообразно так выстроить инфраструктуру информационного обмена, чтобы сторонние программные комплексы подключались в виде модулей к универсальному управляющему приложению, осуществляющему вычислительные процессы решения прикладных задач потребителей, а сам информационный обмен строился на принципах событийно-ориентированной архитектуры.

Событийно-ориентированный подход в распределённых информационных системах может быть реализован в виде сервисной шины предприятия (ESB) [19]. Она организует централизованный и унифицированный событийно-ориентированный обмен сообщениями между различными компонентами информационной системы. Обмен происходит через единую точ-

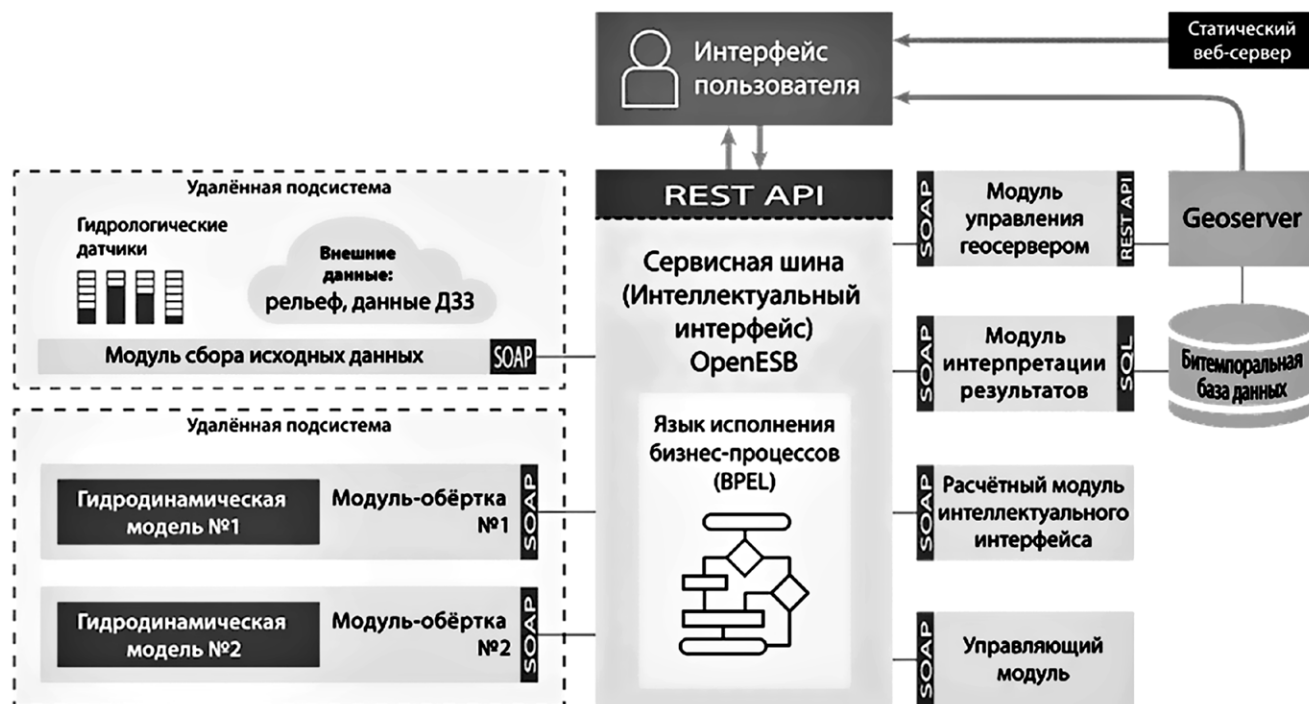


Рис. 1. Обобщённая схема информационной системы оперативного прогнозирования наводнений



ку, обеспечивающую транзакционный контроль, преобразование данных, аудит сообщений. Принципиальным, с точки зрения построения системы и обеспечения независимого функционирования разнородных модулей, является тот факт, что при изменении какого-либо компонента системы, подключённого к сервисной шине, нет необходимости в перенастройке остальных подсистем.

По второму вопросу заметим, что концепция сервисной шины предоставляет возможность организации синтеза вычислительных процессов, но напрямую не декларирует путь её реализации. Для описания автоматического управления набором сервисов в зарубежной литературе используется термин "оркестровка веб-служб" [20]. Оркестровка описывает, как сервисы должны взаимодействовать друг с другом, обмениваясь сообщениями, включая бизнес-логику и последовательность действий. В сервис-ориентированной архитектуре оркестровка сервисов реализуется согласно стандарту Business Process Execution Language (WS-BPEL) [21]. За последнее десятилетие WS-BPEL зарекомендовал себя как эффективный язык для описания логики работы приложений, основанных на распределённых веб-сервисах. Его применение позволяет организовать логику взаимодействия модулей и веб-сервисов при решении каждой конкретной прикладной задачи, используя в том числе визуальный редактор. Тем самым обеспечивается визуальное конструирование алгоритмов работы с данными при задействовании различных источников и сервисов.

В целом в составе предлагаемой и уже реализованной системы можно выделить следующие оригинальные архитектурные и программные решения, которые позволяют применять заявленную технологию максимально полной автоматизации оперативного прогнозирования наводнений:

- сервисная шина, представленная программным продуктом OpenESB;
- интерпретатор сценария на языке BPEL, встроенный в сервисную шину OpenESB;
- программное обеспечение для отображения данных по стандартам веб-картографии GeoServer;
- система управления базой пространственных данных PostgreSQL с дополнением PostGIS;
- сервер администрирования на базе Python;
- сервис сбора данных с гидрологических датчиков;
- сервис получения, обработки и загрузки данных ДЗЗ;
- сервис прогнозирования значений параметров гидродинамических процессов;
- сервис, управляющий работой расчётной гидродинамической модели;

- сервис прогнозирования уровня и расхода воды на гидропостях;
- сервис обработки и интерпретации результатов расчётов;

- пользовательский веб-интерфейс в виде прогрессивного веб-приложения, адаптированного для работы на стационарных и мобильных пользовательских терминалах, и обеспечивающий выполнение принципиального требования минимизации специальных знаний потребителя для работы с информационными системами.

Вся информация, с которой работает система, хранится в битемпоральной базе данных. В её основе лежит темпоральная модель данных (ТМД), позволяющая хранить сведения об их жизненном цикле. ТМД применяется для хранения как исходных данных (гидрометеорологических), так и результатов моделирования. Битемпоральность означает хранение как времени актуальности определённых данных, так и транзакционного времени (момент записи в хранилище).

Использование битемпоральной базы данных обеспечивает работу системы мониторинга наводнений в оперативном режиме, а также в режиме моделирования "по прошлому" и в режиме сценарного моделирования. Доступ пользователя к темпоральным данным реализован в виде временной шкалы в веб-интерфейсе. Используя этот механизм, пользователь может просматривать различные материалы (исходные, исторические и прогнозируемые) без специальных знаний (например, формального языка запросов), просто перемещая ползунок шкалы (рис. 2).

Созданный вариант системы оперативного прогнозирования наводнений выполняет полный цикл моделирования *в автоматическом режиме*: от сбора исходных данных с гидрологических датчиков до обновления результатов прогнозирования в пользовательском интерфейсе. В базе пространственных данных формируются записи, которые преобразуются геосервером в формат WMS и поставляются в пользовательский интерфейс. Сам интерфейс предоставляет конечному пользователю необходимый минимум инструментов для работы с результатами прогнозирования: строку поиска пространственных данных, перечень отображаемых в настоящий момент данных, временную шкалу для работы с темпоральными данными. Таким образом, вся сложность, связанная с использованием разнородных территориально распределённых модулей системы, скрыта от пользователя за счёт полной автоматизации вычислительного процесса. Это позволяет применять систему не только специалистам с высоким уровнем знаний в области ГИС и информационных технологий, но и специалистам в предметной области (гидрологии), а также другим пользова-

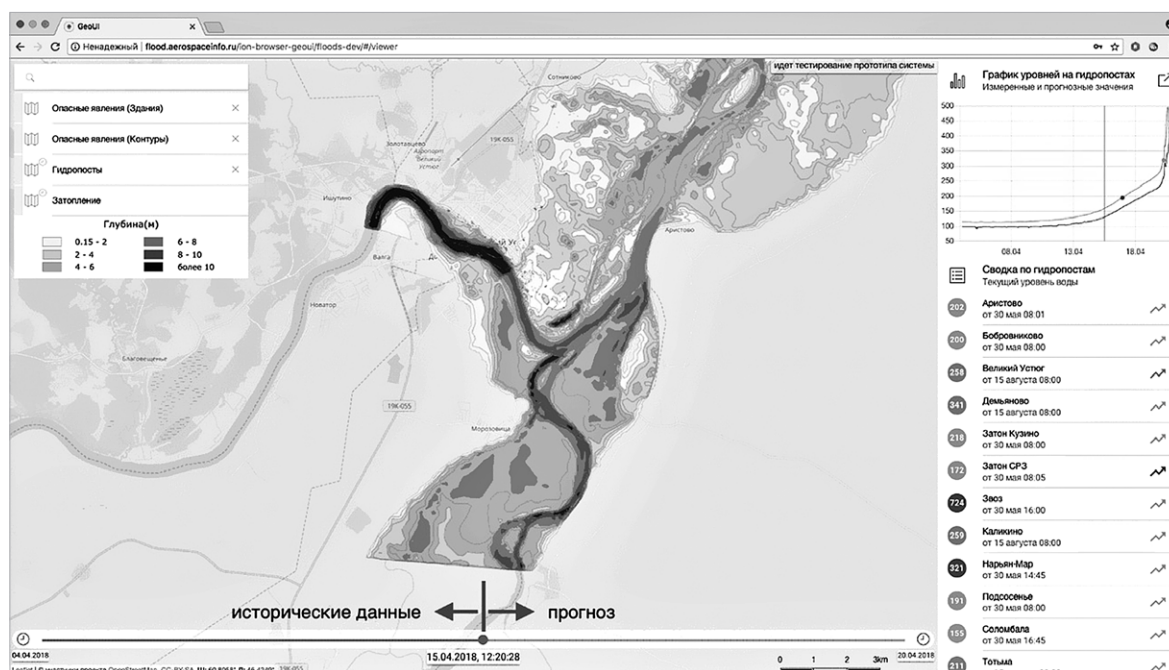


Рис. 2. Вид экрана веб-интерфейса системы с временной шкалой

телям, заинтересованным в результатах прогноза наводнений (службы по чрезвычайным ситуациям, органы исполнительной власти, коммерческие организации и граждане).

Подходы к созданию большей части рассмотренных информационно-технологических решений базируются на результатах, представленных в статье [1]. Отметим дополнительно два принципиальных момента, определяющих возможности автоматизации полного цикла моделирования, а именно — способ автоматического определения уровней воды "на входе" в модели движения воды по руслу и обработку данных ДЗЗ для их использования при последующей корректировке (при необходимости) параметров моделей.

**Модели прогноза уровней и расходов воды.** Одни из ключевых компонентов системы, потребовавшие особого внимания при её создании и тестировании, — сервисы подготовки исходных данных для загрузки непосредственно в гидродинамические модели, осуществляющие расчёт зон и глубин затоплений. Такими исходными данными являются прогнозируемые уровни и расходы воды в заранее определённых сечениях русла реки.

При функционировании данного сервиса реализуются многомодельный подход и концепция выбора для конкретного интервала времени той математической модели, которая в наибольшей степени адекватно описывает и прогнозирует гидрологическую обстановку. В качестве альтернативных вариантов моделей расчёта расходов воды рассматриваются аналитико-имитационные гидрологические модели формирования стока (в данном

случае этот подход иллюстрируется отечественной моделью ECOMAG, разработанной под руководством Ю.Г. Мотовилова [22]), максимально полно учитывающей особенности водосборных бассейнов на российских территориях, а также моделями непосредственного расчёта с использованием искусственных нейронных сетей (ИНС).

Сейчас опыт создания ИНС для прогнозирования уровня воды на российских реках крайне ограничен. Существующие прототипы ИНС, как правило, "обучались" для рек, которые либо не замерзают, либо уровень их промерзания незначителен [23, 24]. При реализации этого метода в рамках рассматриваемого подхода разработан алгоритм автоматического подбора (адаптации) конфигурационных параметров предложенных моделей ИНС. Непосредственно алгоритм обучения построен на базе генетического алгоритма [25], где в качестве "особей" выступали простые персептроны Румельхарта<sup>1</sup>. Обладая тривиальной структурой, данный персептрон прост в разработке, настройке и последующем использовании, а универсальность позволяет применять его для решения широкого спектра задач динамического распознавания ситуаций.

<sup>1</sup> Персептрон Румельхарта — искусственная нейронная сеть, содержащая входной и выходной слои, а также один или более скрытых слоёв. Данная архитектура сети была разработана Дэвидом Румельхартом в 1986 г. Особенностью архитектуры является то, что в процессе обучения алгоритмом обратного распространения ошибки обучаются все слои, а не один выходной.

В процессе работы генетического алгоритма подстраивались следующие параметры предложенных ИНС:

- количество скрытых слоёв;
- количество нейронов в скрытом слое;
- функция активации нейронов скрытого слоя;
- количество эпох обучения.

В результате работы алгоритма формируется ИНС с адаптированными параметрами, обеспечивающая требуемую точность и достоверность оперативного прогнозирования наводнения.

Выбор конкретной модели (ИНС или ECOMAG) для расчёта расходов воды "на входе" в гидродинамические модели определяется индивидуальными условиями конкретного паводка и будет проиллюстрирован ниже при описании экспериментальной части исследований.

**Особенности обработки данных дистанционного зондирования Земли.** Важная отличительная черта рассматриваемой системы, определяющая новизну подхода к моделированию и верификации результатов прогноза, — активное использование, наряду со съёмкой в оптическом диапазоне, материалов радарной спутниковой съёмки. В условиях сильной облачности, что зачастую имеет место при развитии опасных гидрологических явлений, применение радарных данных существенно расширяет возможности систем прогнозирования наводнений с точки зрения оперативности получения информации о ледовых явлениях и оценивания текущих контуров водных поверхностей на территории для выполнения коррекции параметров прогнозных гидродинамических моделей. Однако использование радарных данных имеет ограничения, связанные с тем, что ввиду особенностей геометрии съёмки затопления на урбанизированных территориях могут оказаться перекрыты объектами городской застройки и попасть в зону радиолокационной тени. Эффективным решением проблемы является совместный анализ материалов оптической и радиолокационной съёмки.

Оптические данные — ценный источник информации при детектировании затоплений благодаря тому, что водные поверхности, как правило, характеризуются более низкими значениями спектральной яркости в сравнении с окружающими объектами, и на оптических снимках отображаются как наиболее тёмные области. Действенный способ автоматического выявления водных объектов по оптическим данным — расчёт индексов для оценки интенсивности отражённого излучения в различных спектральных каналах. К числу индексов, чаще всего используемых для детектирования водных поверхностей, относятся водный индекс NDWI (Normalized Difference Water Index) и вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [15].

Выявление водных объектов по радарным данным основано на том, что при взаимодействии с гладкими водными поверхностями отражённый сигнал распространяется в направлении от антенны, в результате чего водная поверхность на радарном снимке обычно представлена пикселями с низким значением интенсивности. Сегодня задача автоматического выделения водных поверхностей по материалам радиолокационной съёмки решается с использованием пороговой обработки, текстурного анализа, обработки интерферометрических данных, поляриметрической обработки [15]. Основной метод — классификация радарного изображения с учётом порогового значения интенсивности отражённого сигнала, когда в процессе обработки всем пикселям снимка, значение которых меньше установленного порога, присваивается класс водных объектов [26].

Точность распознавания объектов зависит от характера водной поверхности и во многом определяется исходными данными, в частности, поляризацией сигнала, при которой были получены снимки. Наиболее предпочтительна для картографирования наводнений горизонтальная поляризация (HH). Перекрёстные поляризации (HV, VH) и их комбинации эффективны при изучении частично затопленных территорий, так как позволяют выделить различные объекты местности по характеру обратного рассеяния [27].

В рассматриваемой системе оперативного прогнозирования наводнений используется оригинальный метод обработки, основанный на сочетании пороговой обработки радарных снимков и вычисления индекса NDWI по данным оптической съёмки с последующим совместным анализом результатов. Применение такого подхода при детектировании зон затоплений позволило избежать неточностей, связанных с облачностью, и при этом получить данные о затопленных участках на урбанизированных территориях.

В целом полученные результаты обеспечивают решение задачи автоматической обработки оптических и радарных космических снимков с целью выявления затопленных территорий и визуального сравнения реальных и смоделированных контуров зон затопления. Кроме того, реализация предложенного подхода в виде отдельного веб-сервиса позволяет перейти к автоматизации процедур корректировки включённых в систему прогнозных моделей.

**Результаты тестирования.** Рассмотренные технологии и система оперативного прогнозирования наводнений прошли апробацию в РФ в 2014–2018 гг. в ходе проведения исследований в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований и Российского научного фонда применительно к участку русла р. Северная Двина от Великого Устюга до Котласа (рис. 3).



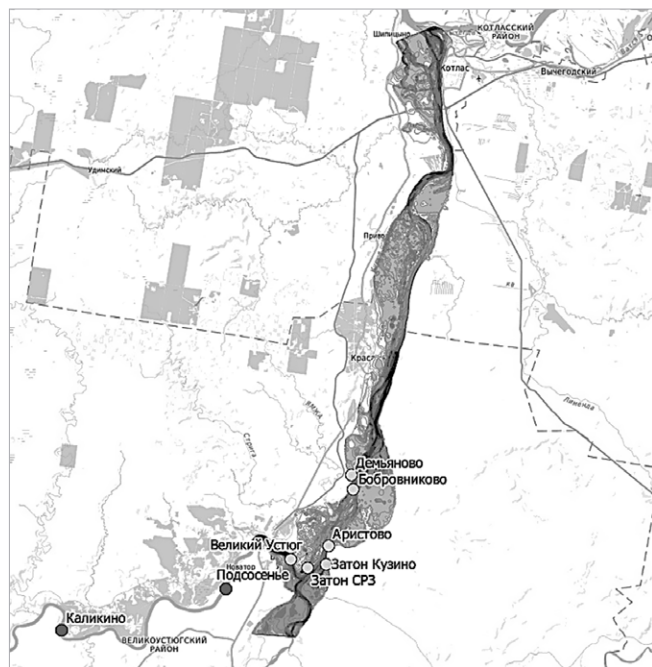


Рис. 3. Участок моделирования затоплений на р. Северная Двина

Экспериментальные исследования проведены с использованием данных 1998–2017 гг., а весной 2018 г. тестирование осуществлялось в режиме реального времени с предоставлением результатов работы специалистам Росгидромета, МЧС и администраций Архангельска, Вологды и Великого Устюга. Выбор территории проведения экспериментов обусловлен высокой частотой возникновения наводнений и большими экономическими потерями от наводнений в этом районе. Кроме того, территория достаточно подробно исследована специалистами-гидрологами и не раз становилась площадкой для отработки гидродинамических моделей [28, 29].

В экспериментах на участке р. Северная Двина в качестве гидродинамического модуля использовалась отечественная модель STREAM 2D, которая апробирована и показала хорошие результаты на ряде российских рек. Модель ранее применялась для сценарных расчётов на рассматриваемом ключевом участке при оценке различных вариантов противопаводковых мероприятий, включая защитные дамбы (одна из которых в настоящий момент находится на стадии строительства), и показала высокую эффективность при воспроизведении максимальных уровней воды и зон затопления: расхождение максимальных смоделированных и наблюдаемых уровней в пиках половодий за 1975–2013 гг. не превышало 30 см, площади затопления различались не более чем на 10% [28, 30].

Для расчёта расходов воды, поступающей на верхние границы гидродинамической модели,

использовались модели ECOMAG и искусственных нейронных сетей. Модель формирования стока ECOMAG ранее успешно применялась для сценарных расчётов стока при изменении климата в бассейне р. Северная Двина [31]. В режиме оперативных расчётов модели STREAM 2D и ECOMAG начали применяться для узла слияния рек Сухоны и Юга в ходе разработки описываемой системы прогнозирования.

В процессе тестирования в режиме реального времени гидрологические данные поступали в систему с 12 стационарных и 5 временных гидропостов (часть из них, расположенная в рассматриваемом районе моделирования затоплений, показана на рисунке 3). Данные перед поступлением в модель STREAM 2D проходили предобработку в соответствии с описанными выше подходами для расчёта уровней воды.

Для прогнозирования уровня воды использовались данные с трёх постов на притоках р. Северная Двина: посты Тотьма и Каликино на р. Сухона и пост Гаврино при слиянии рек Юг и Луза (поскольку пост Гаврино был закрыт в 1989 г., данные для более поздних периодов рассчитывались в виде суммы расходов с постов Красавино на р. Луза и Подосиновец на р. Юг, для пересчёта расходов воды в уровни и обратно использовались кривые  $Q(H)$  для соответствующих постов), а также данные о температуре с метеорологических постов, основным из которых был пост в Великом Устюге. Выбор этих гидропостов обусловлен областью формирования ледовых заторов между Великим Устюгом и Котласом. Участок характеризуется достаточно частым образованием ледовых заторов, что приводит к затоплению Великого Устюга, расположенного на слиянии рек Сухона и Юг.

При разработке и выборе конкретных моделей и методов прогнозирования наводнений на рассматриваемом участке реки необходимо учитывать, что, несмотря на имеющийся внушительный объём исторических статистических данных, полученных ранее с перечисленных гидропостов, большая их часть имеет обрывочный, мозаичный характер. В связи с этим для обучения разрабатываемых прогностических искусственных нейронных сетей был составлен специальный набор данных за несколько лет.

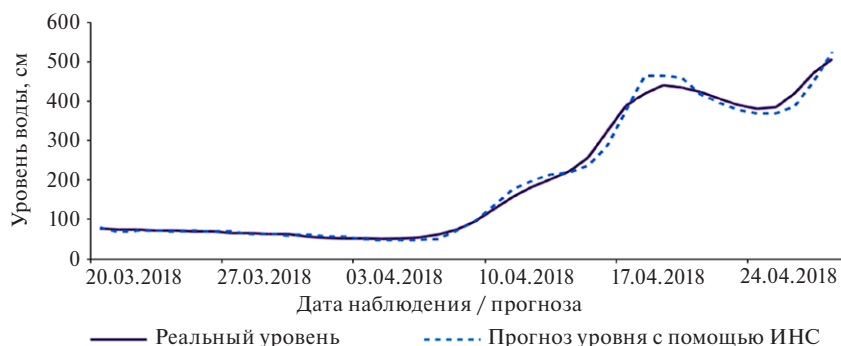
На рисунках 4–6 представлены результаты прогнозирования с помощью ИНС уровня воды в районах трёх гидропостов за период 09.03.2018–29.04.2018. Из графиков видно, что худшая точность прогноза была получена для поста Каликино, в районе которого в ходе ледохода 2018 г. образовалась аномальная ситуация, вызванная ледовым затором. Для постов Гаврино и Тотьма, где ледоход был близким по параметрам к среднестатистическому, точность оказалась выше: разница между реальным и спрогнозированным уровнями не превысила 10%.

На рисунке 7 приведены результаты сравнения прогноза на базе ИНС с расчётом, полученным на основе имитационного моделирования, выполненного с помощью программного комплекса ЕСОМАГ по данным метеорологических станций. Расходы воды, полученные по модели ЕСОМАГ, для сравнения с результатами по ИНС пересчитаны в уровни воды по кривой  $Q(H)$  для поста Каликино. Имитационная модель реагировала на изменения паводковой ситуации существенно медленнее, однако корректнее отражала нештатные ситуации и точнее определяла тренды их развития в долгосрочной перспективе, так как в данном типе моделей учитываются процессы формирования стока за весь период, начиная с осеннего промерзания водосбора, снегонакопления, снеготаяния и т. п. на всей водосборной площади выше исследуемых створов.

Можно сделать вывод, что ИНС дают лучший результат в режиме обычного ледохода и способны с высокой точностью прогнозировать длительные по времени и инерционные изменения, влияющие на уровень воды. Это обусловлено большим набором тестовых примеров в период нормального ледохода, что позволило обучить ИНС точно прогнозировать уровень воды в таких условиях. В свою очередь прогнозирование резких изменений ледовой или метеорологической обстановки дало более высокую погрешность. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, отсутствовало достаточное количество обучающих данных, которые позволили бы охватить изменения уровня при всех возможных аномальных ситуациях. Во-вторых, возникновение таких ситуаций обусловлено факторами, появляющимися при замерзании реки или в зимний период, а ИНС использует только оперативные данные о текущем состоянии реки и при ограниченных объёмах обучающих выборок не может учитывать долгосрочные причины и оценивать их влияние на уровень воды.



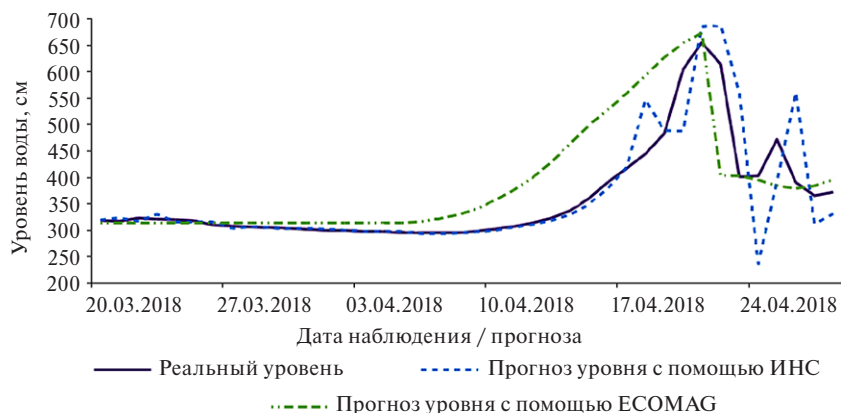
**Рис. 4.** Результаты прогнозирования уровня воды с использованием ИНС для створа поста Гаврино



**Рис. 5.** Результаты прогнозирования уровня воды с использованием ИНС для поста Тотыма



**Рис. 6.** Результаты прогнозирования уровня воды с использованием ИНС для поста Каликино



**Рис. 7.** Сравнение результатов прогнозирования для поста Каликино



Модель ECOMAG способна конструктивно учитывать все данные и на этой основе обеспечивать прогнозирование возможных долгосрочных аномальных ситуаций. Однако для уточнения результатов, получаемых по модели ECOMAG в оперативном режиме, необходима дальнейшая разработка блока корректировки прогноза, базирующаяся на сопоставлении рассчитанных и наблюдаемых расходов воды в день выпуска прогноза.

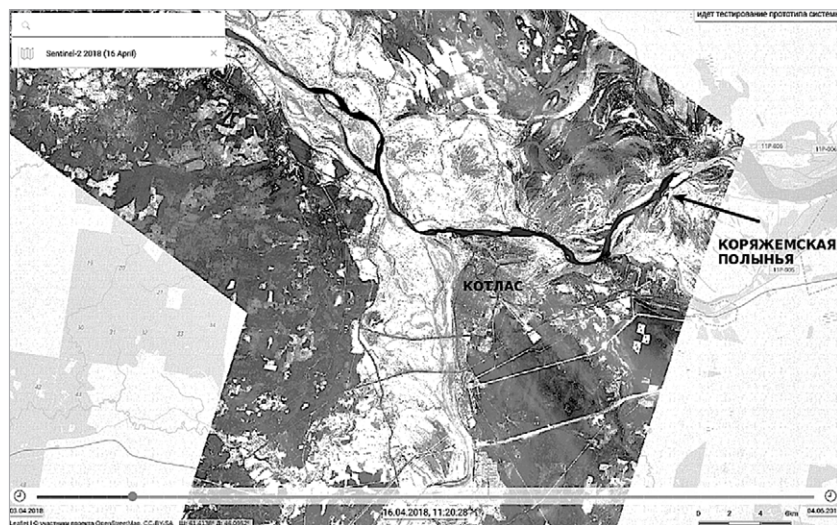
Результаты экспериментальных исследований подтвердили важность комплексного использования различных моделей для повышения точности прогнозирования значений уровня воды, необходимых для последующих расчётов зон и глубин затоплений. Поэтому в процессе работы предлагаемой системы во время нормального ледохода прогнозирование осуществлялось с помощью ИНС. При возникновении аномальной ситуации, вызванной ледяными заторами, когда данные об уровне воды с гидрологических постов не отражали реальное количество воды в реке, происходило переключение на имитационную модель, которая позволяла точнее спрогнозировать характер развития изменений уровня воды на гидропостах.

После загрузки данных в гидродинамическую модель расчёт контуров и глубин затоплений выполнялся каждый час на 24 часа вперёд. Затем сервисы интерпретации результатов моделирования выполняли визуализацию контуров и глубин затоплений. На экран интерфейса системы одновременно с моделируемыми контурами зон распространения воды выводилась информация о составе гидропостов, с которых идёт автоматическая загрузка данных, а также графики изменения уровней воды на гидропостах (в произвольной комбинации гидропостов в течение выбранных временных интервалов) с результатами прогнозов изменения

уровней (см. рис. 2). Кроме того, система позволяет выводить на экран интерфейса пользователя обработанные данные ДЗЗ. При тестировании в качестве данных ДЗЗ использовались материалы съёмки российских КА ДЗЗ "Ресурс-П" и "Канопус-В", а также семейства Sentinel (Европейское космическое агентство) и RADARSAT-2 (Канада).

В рамках исследования выполнена автоматическая обработка оптических и радарных данных с целью выявления территорий, затопленных паводковым наводнением. В частности, в период весеннего половодья с 1 апреля по 16 мая 2018 г. в системе было размещено более 20 космических снимков. Использование материалов космической съёмки позволило не только оценить качество моделирования, но и дать дополнительную информацию специалистам Росгидромета о ледовой обстановке и уникальные данные о специфических явлениях, вызванных местными условиями. Например, на рисунке 8 показано распространение по реке так называемой Коряжемской полыньи. Она образуется в результате сброса тёплой воды Котласским ЦБК в г. Коряжме. Её наличие выступает существенным фактором, который учитывается при анализе гидрологических явлений в расположенной ниже по течению части русла Северной Двины.

Кроме оперативного режима, в ходе экспериментальной отработки системы тестировался сценарный режим работы. Проведено моделирование максимального контура зоны затоплений, достигнутого во время катастрофического наводнения 2016 г. В качестве радарных спутниковых данных для 2016 г. использован снимок RADARSAT-2 (пространственное разрешение — 6 м, поляризация — НН, дата съёмки — 20.04.2016 г.). Обработка в соответствии с предложенным подходом выполнена при поддержке открытого программного обеспечения SNAP и QGIS. Предварительная обработка включала радиометрическую калибровку и фильтрацию спекл-шума. На этапе тематической обработки выполнен расчёт пороговых значений интенсивности с целью выявления водных объектов с построением маски открытой водной поверхности и затопленных территорий. Для уверенного определения требуется, чтобы открытая площадь затопления составляла не менее 24 м<sup>2</sup>. Постобработка включала автоматическую векторизацию растровых данных, а также размещение и визуализацию полученного векторного слоя, содержащего информацию о зоне затопления территории на момент выполнения радарной съёмки, в интерфейсе системы.



**Рис. 8.** Распространение Коряжемской полыньи на снимках Sentinel-2 от 16.04.2018 г.



Результат обработки данных RADAR-SAT-2 сопоставлен с расчётом контуров затопления территории (рис. 9). С учётом разрешающей способности исходных данных и возможных погрешностей, возникающих при выбранной технологии обработки, удаётся достичь высокого совпадения контуров затопления на открытых территориях с низким уровнем урбанизации. Расхождение между площадями затопления, полученными по данным гидродинамической модели, с одной стороны, и по результатам обработки космического снимка по области моделирования, с другой, составило 7%. Наибольшее расхождение смоделированных и наблюдаемых максимальных уровней воды по гидропосту Великий Устюг составило 15 см. Точность прогноза, оценённая по составу объектов инфраструктуры, попадающих в зону затопления в ходе половодья, — не менее 90%.

Для практического применения системы важно, что по результатам прогноза визуализируются объекты инфраструктуры, попадающие в зону затоплений (см. рис. 9, *вверху*), формируются отчёты о потенциальном ущербе, а также обеспечивается автоматическое оповещение граждан и организаций — владельцев этих объектов.

\* \* \*

Проведённый анализ существующих и перспективных технологий интеграции распределённых информационных ресурсов при решении задач мониторинга и оперативного прогнозирования наводнений показал, что в качестве базового подхода к созданию соответствующих информационных систем целесообразно использовать сервис- и событийно-ориентированные архитектуры в сочетании с технологиями платформонезависимого универсального описания, автоматического поиска и интеграции веб-сервисов. Результаты апробации свидетельствуют, что применение такого подхода обеспечивает необходимую функциональность систем оперативного прогнозирования наводнений и выполнение базовых требований к подобным системам. Сложность, связанная с использованием разнородных территориально распределённых информационных ресурсов, скрыта от пользователя за счёт полной автоматизации вычисли-

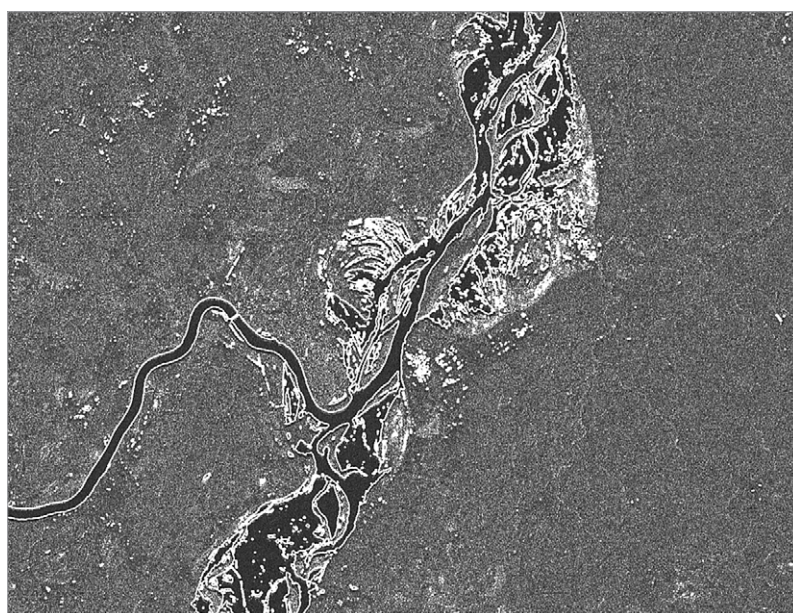
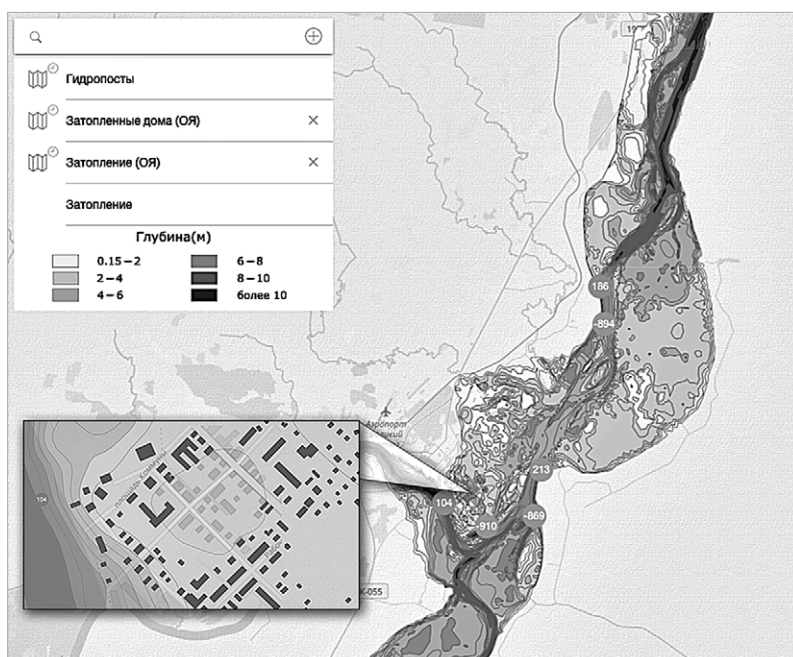


Рис. 9. Сравнение результатов моделирования (*вверху*) с реальными границами зон затоплений (*внизу*) на пике половодья 2016 г.

тельного процесса. Это позволяет использовать систему не только специалистам с высоким уровнем знаний в области ГИС и информационных технологий и специалистам в соответствующей предметной области, но и другим заинтересованным лицам и организациям, в том числе службам по чрезвычайным ситуациям, местным администрациям, страховым компаниям и др.

Результаты тестирования системы в оперативном режиме, а также при сценарном моделировании подтвердили практическую реализуемость предложенного многомодельного подхода и эффектив-

ность программно-технологических решений. При этом продемонстрирована возможность создания высокоуровневых автоматических сервисов прогнозирования наводнений, базирующихся на открытой отечественной программной платформе с максимальным учётом особенностей российских рек и существующего информационного обеспечения задач гидрометеорологического мониторинга.

Перспективные направления дальнейших исследований в сфере развития технологий и систем оперативного прогнозирования наводнений связаны с совершенствованием средств автоматизации моделирования при разработке процедур и сервисов определения мест возникновения ледовых заторов и их вскрытия с соответствующей корректировкой параметров моделей распространения воды ниже по течению, а также с расширением состава используемых для расчётов гидрологических и гидродинамических моделей.

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам Северного управления Гидрометеослужбы РФ и его Вологодского филиала, в первую очередь Е.Н. Скрипник и И.И. Риммер, за помощь в выполнении экспериментальных исследований и заинтересованное обсуждение результатов работы. Неоценимую помощь разработчикам системы оказали консультации руководителей разработки программных комплексов ECOMAG и STREAM 2D Ю.Г. Мотовилова и В.В. Беликова (Институт водных проблем РАН).

#### ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследования по разработке моделей на базе искусственных нейронных сетей, использованию многомодельного подхода, а также экспериментальные исследования по тестированию системы на р. Северная Двина выполнены за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 17-11-01254). Исследования по выбору технологий для создания веб-сервисов выполнены в рамках бюджетной темы № 0073-2019-0004. Обработка данных ДЗЗ выполнена при финансовой поддержке проекта Speeding up Copernicus-based innovation in the Baltic Sea Region (BalticSatApps) программы INTERREG Baltic Sea Region.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Alabyan A.M., Zelentsov V.A., Krylenko I.N. et al. Development of Intelligent Information Systems for Operational River-Flood Forecasting // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2016. № 1. P. 24-33; Алабян А.М., Зеленцов В.А., Крыленко И.Н. и др. Создание интеллектуальных информационных систем оперативного прогнозирования речных наводнений // Вестник РАН. 2016. № 2. С. 127-137.
2. <http://tass.ru/info/4291130> (дата обращения 15.08.2018).
3. Skotner C., Klinting A., Ammentorp H. Mike Flood Watch – managing real-time forecasting. [http://dhigroup.com/upload/publications/mike11/Skotner\\_MIKE\\_FLOOD\\_watch.pdf](http://dhigroup.com/upload/publications/mike11/Skotner_MIKE_FLOOD_watch.pdf) (дата обращения 15.08.2018).
4. Delft3D-FLOW Version 3.15 User Manual. WL | Delft hydraulics. <http://oss.deltares.nl/web/delft3d> (дата обращения 15.08.2018).
5. HEC-RAS river analysis system User's Manual. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras> (дата обращения 15.08.2018).
6. LISPFLOOD-FP, University of Bristol, School of Geographical Sciences, Hydrology Group. <http://www.bristol.ac.uk/geography/research/hydrology/models/lisflood> (дата обращения 15.08.2018).
7. <https://www.deltares.nl/en/software/flood-forecasting-system-delft-fews-2/> (дата обращения 15.08.2018).
8. <http://water.noaa.gov/about/nwm> (дата обращения 15.08.2018).
9. <https://www.efas.eu/> (дата обращения 15.08.2018).
10. Программный комплекс STREAM 2D CUDA для расчёта течений, деформаций дна и переноса загрязнений в открытых потоках с использованием технологии CUDA (на графических процессорах NVIDIA) / Алексюк А.И., Беликов В.В. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2017660266. Российское агентство по интеллектуальной собственности, 2017.
11. Бориц С.В., Бураков Д.А., Жабина И.И. и др. Система прогнозирования и раннего предупреждения об угрозе наводнений на реках бассейна р. Амур // Научное обеспечение реализации "Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г." Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 6-12.
12. Бугаец А.Н., Мотовилов Ю.Г., Беликов В.В. и др. Построение интегрированной системы гидрологического моделирования с применением стандарта OpenMI для задач управления риском наводнений (на примере среднего Амура) // Научное обеспечение реализации "Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г." Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 12-20.
13. <https://www.floodmodeller.com> (дата обращения 15.08.2018).
14. Ponomarenko M.R., Pimanov I.Y. Implementation of Synthetic Aperture Radar and Geoinformation Technologies in the Complex Monitoring and Managing of the Mining Industry Objects // Cybernetics and Mathematics Applications in Intelligent Systems. CSOC 2017 // Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer, Cham. 2017. V. 574.
15. Refice A., D'Addabbo A., Capolongo D. (eds.) Flood Monitoring through Remote Sensing. Springer Remote Sensing // Photogrammetry. Springer, Cham. 2017.
16. Зеленцов В.А., Потрясаев С.А. Архитектура и примеры реализации информационной платформы для создания и предоставления тематических сервисов с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Труды СПИИРАН. 2017. Вып. 6 (55). С. 86-113.
17. Sokolov B.V., Zelentsov V.A., Brovkina O. et al. Models adaptation of complex objects structure dynamics control – Intelligent Integrated Decision Support Systems for Territory Management // Intelligent Systems in Cybernetics and Automation Theory. Proceedings of the 4<sup>th</sup> Computer Science On-line Conference 2015 (CSOC2015). V. 2: Intelligent Systems in Cybernetics and Automation



- Theory // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2015. V. 348. P. 21-34.
18. Paik H., Lemos A., Barukh M. et al. Web Service Implementation and Composition Techniques. Springer International Publishing, 2017.
  19. He W., Xu L.D. Integration of Distributed Enterprise Applications: A Survey // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2014. V. 10. № 1. P. 35-42.
  20. Wang Y. A formal model of QoS-aware web service orchestration engine // *IEEE Transactions on Network and Service Management*. 2016. V. 13. № 1. P. 113-125.
  21. Ting-Huan K., Chi-Hua C., Hsu-Yang K. Applications of the web service middleware framework based on the BPEL // *Proceedings of the IEEE 5<sup>th</sup> Global Conference on Consumer Electronics*. 2016. P. 1-5.
  22. Мотовилов Ю.Г. Свидетельство о государственной регистрации в Роспатенте № 2013610703. ECOMAG. Россия, 2013.
  23. Arsene C., Al-Dabass D., Hartley J. Decision Support System for Water Distribution Systems Based on Neural Networks and Graphs // *UKSim 14<sup>th</sup> International Conference on Computer Modelling and Simulation*. 2012. P. 315-323.
  24. Hollan J.H. Adaptation in natural and artificial system. Cambridge, MA: MIT Press Cambridge, 1992.
  25. Lantrip J., Griffin M., Aly A. Results of near-term forecasting of surface water supplies // *World Water Congress 2005: Impacts of Global Climate Change*. Proceedings of the 2005 World Water and Environmental Resources Congress. Anchorage, Alaska, US, 2005. P. 436.
  26. Chini M., Hostache R., Giustarini L., Matgen P. A Hierarchical Split-Based Approach for Parametric Thresholding of SAR Images: Flood Inundation as a Test Case // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. V. 55. № 12. P. 6975-6988.
  27. Martinis S., Rieke C. Backscatter Analysis Using Multi-Temporal and Multi-Frequency SAR Data in the Context of Flood Mapping at River Saale, Germany // *Remote Sens*. 2015. № 7. P. 7732-7752.
  28. Belikov V.V., Krylenko I.N., Alabyan A.M. et al. Two-dimensional hydrodynamic flood modelling for populated valley areas of Russian rivers // *Proc. IAHS*. 2015. V. 370. P. 69-74.
  29. Alabyan A.M., Lebedeva S.V. Flow dynamics in large tidal delta of the Northern Dvina river: 2D simulation // *J. Hydroinformatics*. 2018. V. 20. № 4. P. 798-813.
  30. Agafonova S.A., Frolova N.L., Krylenko I.N. et al. Dangerous ice phenomena on the lowland rivers of European Russia // *Natural Hazards*. 2017. V. 88. № S1. P. 171-188.
  31. Krylenko I., Motovilov Yu., Antokhina E. et al. Physically-based distributed modelling of river runoff under changing climate conditions // *Proc. IAHS*. 2015. V. 368. P. 156-161.

## MODEL-DRIVEN SYSTEM FOR OPERATIONAL FORECASTING OF RIVER FLOODING

© 2019 V.A. Zelentsov<sup>1,\*</sup>, A.M. Alabyan<sup>1,2,3,\*\*</sup>, I.N. Krylenko<sup>1,2,3,\*\*\*</sup>, I.Yu. Pimanov<sup>1,\*\*\*\*</sup>, M.R. Ponomarenko<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>, S.A. Potryasaev<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>, A.E. Semenov<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>, V.A. Sobolevsky<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>, B.V. Sokolov<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>, R.M. Yusupov<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup>St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\*E-mail: v.a.zelentsov@gmail.com; \*\*E-mail: andrei\_alabyan@mail.ru; \*\*\*E-mail: krylenko\_i@mail.ru;

\*\*\*\*E-mail: pimen@list.ru; \*\*\*\*\*E-mail: pnmry@yandex.ru; \*\*\*\*\*E-mail: spotryasaev@gmail.com;

\*\*\*\*\*E-mail: sasfeat@mail.ru; \*\*\*\*\*E-mail: arguzd@yandex.ru; \*\*\*\*\*E-mail: sokol@iiias.spb.su;

\*\*\*\*\*E-mail: yusupov@iiias.spb.su

Received 22.08.2018

Revised version received 20.11.2018

Accepted 17.02.2019

This article presents the results of the development and testing of a system for operational forecasting of river flooding. This system is based on the use of a complex of hydrological and hydrodynamic models and *in-situ* and satellite data. It is implemented on the basis of service-oriented architecture. A distinctive feature of the system is its full automation of the entire modeling cycle, from the initial data loading to the results of interpretation, visualization, and notification of stakeholders. The theoretical background for ensuring the coordinated functioning of system components is provided by the quality of the models and polymodel complexes that have been developed by the authors. The implementation of the system's software was performed using open source and free tools. The results of testing indicate the possibility of the widespread introduction of such systems for authorities and emergency services.

**Keywords:** flood, complex modeling, operational forecasting, service-oriented architecture, artificial neural network, hydrodynamic model, geoinformation systems.



---

ИЗ РАБОЧЕЙ ТЕТРАДИ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

---

МЕХАНИЗМЫ ПРИРОДНОЙ ЗАЩИТЫ ОРГАНИЗМА ХОЗЯИНА  
ПРИ ИНФЕКЦИИ

© 2019 г. О.В. Бухарин

*ФГБУН Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН,  
Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза, Оренбург, Россия*

*E-mail: onckadri@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.12.2018 г.

Поступила после доработки 27.12.2018 г.

Принята к публикации 15.04.2019 г.

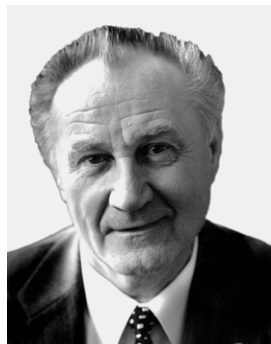
Человек и микробы — извечная тема. Каковы их взаимоотношения? Приносят микробы какую-то пользу или только вред? Проходят годы, появляются новые микробиологические технологии, открываются новые факты сосуществования микробов и человека, рождается новое понимание нашей совместной с микробами жизни. В статье рассмотрены механизмы природной защиты организма хозяина при инфекции, включающие трёх участников этой цепочки — гипоталамо-гипофизарную систему, окситоцин и микробиоту. Внешне эти структуры независимы друг от друга: в головном мозге человека размещён центральный "пулы" универсального управления нашим поведением, принятием решений, здоровьем. Он регулирует работу основных жизненно важных органов через продукцию нейrogормона окситоцина, и, как недавно выяснилось, кишечная микрофлора (микробиота) участвует в этой регуляции. Таким образом, цепочка замкнулась. Возникает вопрос: неужели микробы управляют нами? Давайте разбираться.

*Ключевые слова:* гипоталамо-гипофизарная нейросекреторная система, окситоцин, микробиота, микросимбиоз, инфекция, гомеостаз, персистенция.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873898844-850>

**Гипоталамо-гипофизарная нейросекреторная система хозяина.** Особая структура нашего головного мозга — гипоталамуса — играет существенную роль в защите организма от инфекции. Многовековая эволюция клеток и тканей организма хозяина позволила сформировать центральный "пулы" управления защитой от микроорганизмов, создав гипоталамо-гипофизарную нейросекреторную систему (ГГНС).

Ключевое звено нейроэндокринной регуляции висцеральных функций эукариот — нонапептидные нейросекреторные продукты гипоталамуса [1].



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

Помимо известного ранее висцеротропного воздействия гипоталамических нейропептидов, продуцируемых крупноклеточными ядрами гипоталамуса (супраоптическим и паравентрикулярным) на клеточные и тканевые элементы, было показано, что эти гуморальные факторы обладают более широким метаболическим спектром биологических эффектов, включая их участие в регуляции элементарных процессов эмбриональных и репаративных гистогенезов. Результаты многолетних исследований [2, 3] позволили сформулировать положение о позитивной (оптимизирующей) роли гипоталамических нонапептидов в обеспечении процессов пролиферации, роста и цитодифференцировки тканей различного генеза. Эти эффекты расценены как доказательства адаптогенного значения гипоталамических нонапептидов, наиболее древних гуморальных субстратов в регуляции клеточного и тканевого гомеостаза ныне живущих организмов. Гипоталамические нонапептиды (окситоцин, вазопрессин) могут быть оценены по их эффективному влиянию на гомеостатические процессы эндокринных и неэндокринных эпителиев, а также других тканей. Это влияние можно

интерпретировать с позиции создания регуляторного центра управления гомеостазом (в условиях сокультивирования аденогипофиза различных эпителиев и иных гистоструктур с крупноклеточными ядрами гипоталамуса), то есть условий, которые предполагают лучшую сохранность и мобилизацию репродуктивной активности клеток.

Эволюционно более древние гипоталамические нейрогормоны пептидергических нейросекреторных центров гипоталамуса можно рассматривать как эпигенетические факторы развития клеток и тканей. Вероятно, они могут выступать в качестве сигнальных макромолекул, оптимально регулирующих транскрипцию ДНК и репродукцию клеток и приводящих в ряде случаев к перепрограммированию режима работы ядерного аппарата эукариотической клетки с последующим изменением транскрипционно-трансляционного конвейера, активизации мембранных рецепторов и внутриклеточных мессенджерных систем. Определение окситоцина как одного из активных "игроков" в поддержании гомеостаза организма хозяина способствовало изучению механизмов этой защиты при инфекции.

**Окситоцин и микроорганизмы.** Уже первые работы в этом направлении показали, что окситоцин, хотя и не оказывал существенного антимикробного действия, был эффективен в отношении персистентного (адаптивного) потенциала микробных клеток. В исследовании *in vitro* препарат продемонстрировал выраженное ингибиторное действие в отношении самого универсального признака персистенции бактерий — их антилизозимной активности [4, 5]. Антилизозимный признак (АЛА) — это фактор защиты бактериальных клеток от вездесущего лизоцима (мурамидазы), которым наделены практически все биотопы организма человека и животных. Да иначе и быть не могло, так как всё живое должно быть защищено. Это закон природы. Когда же микробы атакуют организм человека, они прежде всего делают это в "экологических" целях, подыскивая подходящее "жилище". Расчищая себе убежище, они нейтрализуют лизоцим хозяина при помощи своей антилизозимной активности, а патогены могут ещё и прокормиться за счёт лизоцима. Новые жильцы обустроиваются в организме хозяина. Формируется бактерионосительство, которое является прекрасной моделью для изучения персистенции бактерий. Отбор препаратов для снижения "аппетита" у патогенных микробов — важное направление медицины. Сегодня нужны новые подходы к отбору препаратов, подавляющих персистентный потенциал микроорганизмов, среди которых лидирующее место занимает золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*), наиболее частый возбудитель гнойно-воспалительных процессов.

При проведении экспериментов *in vitro* О.Л. Чернова (1989) изучила действие ряда лекарственных препаратов в субингибиторных концентрациях. Такая работа могла бы способствовать отбору препаратов, подавляющих персистентные свойства микроорганизмов и, следовательно, пригодных для санации бактерионосительства [5]. Результаты опытов показали, что окситоцин оказался лучшим регулятором персистентного потенциала (по данным АЛА стафилококков). В тройке лидеров, подавляющих персистенцию стафилококков, — окситоцин, витамин А (масляный раствор) и интерферон. Сходный эффект оказывали масло шиповника и йодиол (для золотистого стафилококка). Лизоцим же в используемых дозах эффекта подавления АЛА у стафилококков не оказывал. Следует отметить, что сам окситоцин, не обладая антимикробным эффектом, подавлял персистентный потенциал микроорганизмов, что и было подтверждено исследованиями клинического профиля.

Приведём несколько результатов применения окситоцина в клинике [6]. При лечении женщин с лактационным маститом антибиотикотерапия (без применения окситоцина) значительно уступала комплексному лечению (с включением окситоцина). Эти различия заметны при сравнении сроков лечения больных (в койко-днях): группа сравнения —  $9,6 \pm 0,9$ ; комплексное лечение (антибиотик + окситоцин) —  $6,5 \pm 0,2$ ; в группе женщин, принимавших антибиотик, окситоцин и находившихся под воздействием гелий-неонового лазера (ГНЛ), этот показатель был также  $6,5 \pm 0,7$ , и только подключение КВЧ-терапии (крайне высокочастотная) незначительно сократило эти сроки ( $6,0 \pm 0,3$ ).

Применительно к окситоцину сходная тенденция к усилению антимикробного действия антибиотиков отмечена и при лечении постинъекционных абсцессов у пациентов. Оказалось, что у больных, получавших окситоцин и антибактериальную терапию, в более ранние сроки нормализуется температура, чаще прекращается образование экссудата в очаге воспаления и уменьшается число случаев неблагоприятного течения заболевания, в более ранние сроки наступает выздоровление. Также показано, что использование окситоцина в сочетании с антибиотиками в лечении больных (150 пациентов) другими гнойными заболеваниями мягких тканей обеспечивало их выздоровление через 4–7 дней, то есть в 1,8–4,4 раза быстрее, чем это предусмотрено медико-экономическими стандартами для таких нозологических форм, госпитализация пациентов была короче в 2–3 раза по сравнению с лечением традиционным способом.

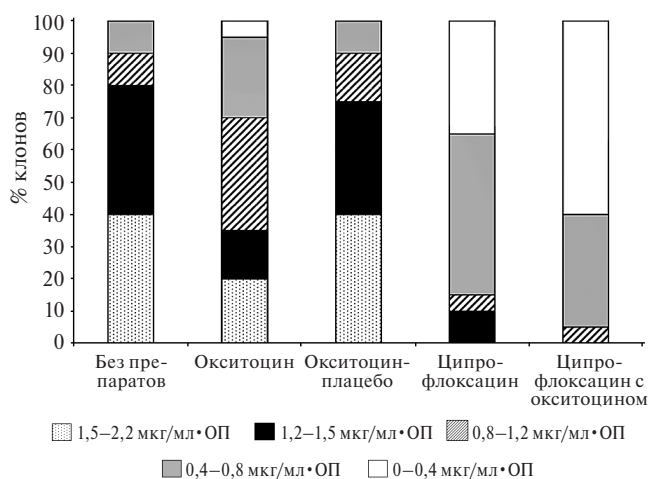
Не меньший интерес представляют и материалы О.М. Абрамзона [7], который, используя пер-

Сравнительная оценка результатов лечения больных острой эмпиемой плевры и пиопневмотораксом

Показатель	Основная группа	Группа сравнения
Число больных	67	28
Сроки нормализации температуры тела, дни	13,8±1,2*	25,8±2,1
Сроки нормализации анализов периферической крови, дни	12,9±0,8*	26,2±2,9
Сроки нормализации рентгенологической картины, дни	15,0±1,0*	32,2±3,3
Сроки лечения, дни	26,0±1,2*	42,3±3,0
Оперативная активность, %	4,5*	28,6
Летальность, %	4,5	10,7
Переход в хроническую форму, %	8,1*	36,4

\*  $p < 0,01$  для сравниваемых групп больных.

систентный потенциал патогенов в качестве биоматериала, реализовал его при разработке местного закрытого способа лечения больных с острыми гнойными заболеваниями лёгких и плевры. Используя окситоцин в комбинации с другими лекарственными препаратами для местного лечения больных с острыми гнойными заболеваниями лёгких и плевры, авторы получили обнадеживающие данные [8]. Исследования показали однотипный для аэробных и анаэробных изолятов характер динамики биологических свойств выделенной микрофлоры при обычном и затяжном течении заболевания и позволили выбрать наиболее информативные показатели (антилизотимная, антикомплемментарная (АКА) и гемолитическая



Популяционная структура *Klebsiella pneumoniae* № 278 по АЛА и её изменение под влиянием окситоцина, ципрофлоксацина и их сочетаний (5%)  
Средний уровень АЛА *Klebsiella pneumoniae* № 278 был равен  $1,27 \pm 0,03$  мкг/мл•ОП

(ГА) активности микроорганизмов), с помощью которых удалось на ранней стадии заболевания прогнозировать вариант его развития. Результаты эксперимента получили документальное подтверждение в клинике при местном применении комплексов "антибиотик + окситоцин" у пациентов с острыми нагноительными лёгочно-плевральными процессами, а также при профилактике эмпием плевры после пневмонэктомий (табл.).

В работе Ю.И. Скоробогатых [9] установлено, что внесение в среду культивирования комбинации ципрофлоксацина с окситоцином приводило к снижению минимальной подавляющей концентрации (МПК) антимикробного препарата как S-, так и R-штаммов в 4–8 раз по сравнению с контролем. Отмечено исчезновение резистентности к ципрофлоксацину у всех исследуемых R-штаммов микроорганизмов. Среди облигатно-анаэробных бактерий МПК ципрофлоксацина при его сочетании с окситоцином снижалась в среднем в 4–6 раз, а среди факультативно-анаэробных патогенов – в 6–8 раз. Таким образом, чувствительность к ципрофлоксацину широко распространена среди штаммов возбудителей гнойно-воспалительных заболеваний (ГВЗ) мягких тканей. Однако в 17–50% случаев у микроорганизмов было выявлено наличие резистентности к препарату. Внесение же в среду культивирования ципрофлоксацина в сочетании с окситоцином способствовало не только повышению антибиотикочувствительности у S-штаммов, но и появлению чувствительности у R-штаммов, что может быть одним из возможных способов снижения антибиотикорезистентной госпитальной микрофлоры. Не исключено, что это явление связано с действием препарата на персистентный потенциал возбудителя инфекции. К тому же, как известно, препарат содержит циклопропильный радикал, ответственный за блокирование персистентных характеристик патогена, что продемонстрировано в работе Д.А. Кириллова [10]. Это положение было подтверждено и экспериментально с использованием других микробных культур с применением популяционного анализа (рис.). Сочетание ципрофлоксацина с окситоцином в сравнении с монопрепаратами приводило к снижению МПК для исследуемых видов микроорганизмов, что соответствовало не только повышению чувствительности к ципрофлоксацину антибиотикочувствительных культур, но и появлению антибиотикочувствительности штаммов к препарату у антибиотикорезистентных бактерий. Сочетание ципрофлоксацина с окситоцином оказалось более эффективным, чем отдельные препараты, подавляя не только АЛА, но и биоплёнкообразование патогенов.



По экспериментальным данным созданы опытные образцы мази для лечения гнойных ран в первой фазе раневого процесса (ципроксиновая мазь I), включающей ципрофлоксацин с окситоцином на базе полиэтиленоксида [11]. Использование комбинации "ципрофлоксацин + окситоцин" на основе кремнийорганического глицерогидрогеля позволило создать мазь (ципроксиновая мазь II), пригодную для лечения II и III фаз гнойных ран [12].

Местное применение мази ципроксиновой I и II в эксперименте обеспечивало более раннюю элиминацию микрофлоры из очага воспаления, прекращение выделения гнойного экссудата и стимуляцию репаративных процессов в ране, что в итоге вело к более быстрому выздоровлению. Исследования свидетельствуют о целесообразности совместного применения ципрофлоксацина с окситоцином и смесью полиэтиленоксидов при лечении гнойных ран в I фазу раневого процесса, а во II и III фазы — комбинацию ципрофлоксацина с окситоцином и кремнийорганическим глицерогидрогелем, что расширяет арсенал препаратов, эффективных в отношении хирургической инфекции мягких тканей.

Как известно, гипоталамические нонапептиды (вазопрессин и окситоцин) обладают широким диапазоном действия, являясь важнейшими регуляторными продуктами хозяина, принимающими участие в формировании гомеостаза организма [13]. Определена адаптогенная функция нонапептидов, реализующаяся в инфекционном процессе, обусловленном персистирующими патогенами [14].

Рассмотрение механизмов защитного действия окситоцина при инфекции выявило его опосредованное действие на микроорганизмы через иммуномодулирующий эффект: усиление бластной трансформации лимфоцитов, фагоцитарной реакции макрофагов [15] и прямое воздействие препарата на клетки прокариот за счёт подавления персистентного потенциала [8], включая биоплёнкообразование [9]. Предполагается, что слабый антимикробный эффект нонапептида связан преимущественно с влиянием препарата на клеточную стенку микроорганизмов, поскольку атомно-силовая и электронная микроскопия выявили физические изменения жёсткости цитоплазматической мембраны, дезорганизацию клеточной поверхности, а также разрыхление и везикуляцию нуклеоидных компонентов бактерий под действием окситоцина [14].

Обнаружено инсулиноподобное действие окситоцина *in vitro* и в эксперименте на животных, что реализуется путём увеличения синтеза гликогена из глюкозы, торможением липолиза и повышением внутриклеточного образования

$H_2O_2$  [16]. Описана способность окситоцина стимулировать секрецию эндогенного инсулина в ряде работ [17, 18]. Помимо этого, имеется положительный опыт применения окситоцина при лечении гнойных заболеваний мягких тканей на фоне сахарного диабета, диабетических гнойно-некротических поражений стоп. Была разработана оригинальная методика лечения больных с диабетическими гнойно-некротическими поражениями стоп, включающая применение окситоцина в ходе комплексного лечения [19]. Исследуя биоптаты (материалы, полученные путём биопсии) из зон поражений, авторы выявили уменьшение некробиотических и некротических изменений в тканях кожи, гиподермы и скелетных мышцах, увеличение синтеза ДНК в адвентициальных клетках, фибробластах и эндотелиоцитах. Включение в комплексную терапию окситоцина в определённой степени корригировало нарушенную в условиях сахарного диабета клеточную репродукцию. Окситоцин оказывал существенное стимулирующее влияние на репаративную регенерацию тканей в ране у больного сахарным диабетом, что приводило к эффективному очищению раны и формированию полноценной грануляционной ткани, создающей адекватные условия для репарации раневой поверхности.

**Интегративные взаимоотношения микробиоты и хозяина.** Как же складываются такие отношения? Насколько мы продвинулись в понимании этого вопроса? Известно, что грамотрицательные бактерии способны взаимодействовать с сигнальными молекулами иммунной системы человека, к которым относят полипептидные сигнальные молекулы — цитокины. Баланс этих регуляторных молекул важен для гомеостаза человека, так как цитокины принимают участие в регуляции иммунного ответа при инфекции [20]. Выработка цитокинов в ответ на присутствие микроорганизмов предполагает не только опосредованный (через регуляцию иммунитета), но и прямой контакт бактерий с данными сигнальными молекулами. В связи с этим было изучено влияние цитокинов на физиологические свойства (рост/размножение) бактерий в условиях *in vitro* [21]. Оказалось, что интерлейкин IL-1, IL-2, IL-6, интерферон (INF) —  $\gamma$  [22], фактор некроза опухоли (TNF) —  $\alpha$  [23] способствуют росту бактерий, за исключением IL-4 [24]. На модели культуры чумной палочки (*Yersinia pestis*) было показано наличие микробного рецептора, белка Caf1A (антиген сборки капсулы F1), локализованного в наружной мембране, способного связываться с IL-1  $\beta$  [25]. В наружной мембране синегнойной палочки (*Pseudomonas aeruginosa*) обнаружен белок, специфически связывающийся с INF- $\gamma$ , что приводит к продукции сидерофора пиоциа-

нина псевдомонады и активации механизмов кворума данного вида бактерий [26].

Сегодня признано, что микробиота со своей стороны способна оказывать влияние на продукцию определённого вида цитокинов в качестве ростовых факторов и стимуляции/супрессии их синтеза [27]. Некоторые патогенные и условно-патогенные бактерии секретируют ферменты, позволяющие микроорганизмам расщеплять основные виды органических макромолекул. Инактивация цитокинов, являющихся продуктом активированных Т-лимфоцитов, макрофагов, дендритных клеток, может повлечь значительные нарушения механизмов врождённого и адаптивного иммунитета.

Ещё одно подтверждение интеграции микробиоты и хозяина посредством влияния сигнальных молекул микроорганизмов на иммунитет человека получено в работе А.С. Петровского (2012). Автор выявил изменение функциональной активности и субстратной специфичности лизоцима под влиянием гомологов алкилоксибензолов (АОБ). Выяснилось, что лизоцим, модифицированный С7-АОБ, активен как в отношении хитина и, следовательно, грибов, так и интактных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae*. Максимальный выход редуцирующих сахаров в обоих вариантах наблюдался при концентрации С7-АОБ 2 мг/мл [28].

Анализ приведённых данных свидетельствует, что интеграция молекулярных систем микросимбионтов и макропартнёра (хозяина), вероятно, осуществляется посредством сигнальных молекул: со стороны микробиоты — низкомолекулярных метаболитов, медиаторов кворума и др., а со стороны хозяина — медиаторов гормональной и иммунной систем. Не исключено, что в условиях симбиоза сформирована единая регуляторная среда, определяющая многообразие этих связей. Примером тому может служить кишечно-мозговая ось (бинаправленная коммуникативная система, посредством которой мозг модулирует функции желудочно-кишечного тракта, и наоборот), которая вызывает у исследователей большой интерес [29]. Ещё в работе Дж. Камары (2009) описана двусторонняя связь между желудочно-кишечным трактом и мозгом, имеющая большое значение для поддержания гомеостаза организма человека, в основе которого лежит гормональная, иммунологическая и нейронная регуляция. Регуляция гомеостаза кишечной микробиоты организма хозяина, по всей видимости, осуществляется через специализированные (дендритные) клетки, которые поддерживают коммуникативные связи с другими микробными клетками, в конечном счёте сигналы поступают в гипоталамо-гипофизарную систему (ГГНС) для принятия правильного реше-

ния — нужна защита хозяина или нет? Вот почему справедливо считают, что "разговор" микробов друг с другом и с хозяином — важнейшее звено в принятии решения, то есть разговор микроорганизмов — важная компонента общения [29, 30].

Следует признать, что связь кишечной микробиоты с поведенческими реакциями хозяина представляет интерес не только для клиницистов, но и для специалистов-теоретиков [31]. Используется даже термин "ось микробиота — кишечник — мозг" (ось МКМ). Выявление корреляции состояния пациентов (энцефалопатия, депрессия, беспокойство и др.) с изменением кишечной микробиоты подтверждено исследованиями *in vitro*, в которых было показано, что кишечные инфекции, обусловленные патогенными бактериями, вызывают у экспериментальных животных тревогу, регулируя уровень адренокортикотропного гормона (АКТГ) у мышей [32], тогда как назначение пробиотиков (*Bifidobacterium longum* и *Lactobacillus helveticus*) приводило к снижению беспокойства.

Роль микробного фактора, в частности микробиома, трудно переоценить, и уж если он создан природой и сосуществует с хозяином много веков, то остаётся лишь понять его физиологическое назначение. Нетрудно заметить, что наличие в организме млекопитающих такого универсального и мощного центра управления здоровьем, как ГГНС, продуцирующей нонапептидные нейросекреторные гипоталамические гормоны (окситоцин и вазопрессин), не может оставить микробиом "без работы". Оказалось, что кишечная микрофлора, стимулируя иммунную защиту хозяина, защищает организм весьма любопытным способом — за счёт транслокации полезной микрофлоры хозяина и её метаболитов [33]. И это не единственно полезная функция гипоталамического гормона окситоцина. Известно, что он осуществляет многофункциональную защиту хозяина: вмешивается в репродуктивную функцию, в процессы ожирения, влияет на социальное поведение, улучшает настроение и самочувствие и, наконец, поддерживает качество жизни и здоровье [34].

Микробная регуляция продукции нейропептидного гормона окситоцина в эксперименте стала возможной при введении хозяину пробиотических модельных микроорганизмов, а это открывает перспективы в получении новых биоэффектов микробиоты. Связь окситоцина с процессами ожирения, репродуктивного здоровья, врождённого иммунитета вкупе с уже приведёнными материалами даёт основание признать этот нейрогормон универсально-глобальным гормональным регулятором, определяющим новые возможности в улучшении нашего физического, интеллектуального и социального статуса (здоровья). Не исключено, что описанные эффекты полезной работы окситоцина в регуляции гомеостаза хозяина ещё не раскрыты полно-

стью, но это дело лишь времени и смелости ума. Уже сегодня возросший интерес к этой проблеме является залогом новых находок и решений в описанном нами треугольнике: ГГНС—окситоцин—микробиота. А это уже новый свет, появившийся в конце "туннеля".

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Поленов А.Л.* Гипоталамическая нейросекреция. Л.: Наука, 1968.
2. *Лазаренко Ф.М.* Закономерности роста и превращения тканей и органов в условиях культивирования их в организме. М.: Медицина, 1959.
3. *Стадников А.А.* Роль гипоталамических нейропептидов во взаимодействии про- и эукариот (структурно-функциональные аспекты). Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001.
4. *Бухарин О.В.* Персистенция патогенных бактерий. М.: Медицина, 1999.
5. *Чернова О.Л.* Антилизозимная активность стафилококков, выделенных при бактерионосительстве. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Челябинск, 1989.
6. *Курлаев П.П.* Роль факторов бактериальной персистенции в патогенезе, прогнозировании и обосновании выбора метода лечения больных гнойно-воспалительными заболеваниями мягких тканей. Автореф. дисс. ... докт. мед. наук. Оренбург, 2001.
7. *Абрамзон О.М.* Биологические свойства возбудителей и их коррекция при острых гнойных заболеваниях лёгких и плевры. Автореф. дисс. ... докт. мед. наук. Оренбург, 2004.
8. *Абрамзон О.М., Бухарин О.В., Курлаев П.П. и др.* Лечение острых гнойно-воспалительных заболеваний лёгких и плевры под контролем факторов персистенции микроорганизмов // Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2004. № 4. С. 13-16.
9. *Скоробогатых Ю.И. и др.* Экспериментальное изучение комбинации ципрофлоксацина с окситоцином на образование биоплёнок условно-патогенными бактериями // Журнал микробиологии. 2010. № 6. С. 3-7.
10. *Кириллов Д.А.* Лекарственная регуляция персистентных свойств микроорганизмов. Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Оренбург, 2004.
11. Патент РФ № 2306947. Способ лечения острых гнойно-воспалительных заболеваний мягких тканей микробной этиологии / Ю.И. Скоробогатых, П.П. Курлаев, О.В. Бухарин и др. // Бюллетень № 27 от 27.09.2007.
12. Патент РФ № 2466720. Способ лечения гнойных ран в эксперименте / О.В. Бухарин, В.Н. Чарушин, О.Н. Чупахин и др. // Бюллетень № 32 от 20.11.2012.
13. *Наточин Ю.В.* Гомеостаз // Успехи физиологических наук. 2017. № 4. С. 3-15.
14. *Стадников А.А., Бухарин О.В.* Гипоталамическая нейросекреция и структурно-функциональный гомеостаз про- и эукариот. Оренбург: Изд-во ОрГМА, 2012.
15. *Бухарин О.В., Васильев Н.В., Володина Е.П.* Окситоцин и вазопрессин — регуляторы иммунного гомеостаза // Регуляция иммунного гомеостаза. Тезисы 3-го Всесоюзного симпозиума. 1982. С. 129-130.
16. *Роик В.И.* Участие вазопрессина и окситоцина в регуляции уровня гликемии и обмена углеводов в печени // Вестник хирургии. 1987. № 4. С. 75-77.
17. *Абельсон Ю.О.* Метаболическое действие нейрогипофизарных гормонов // Успехи физиологических наук. 1985. Т. 16. № 2. С. 33-60.
18. *Gao L.Y., Drews G., Nenguin M. et al.* Mechanisms of the stimulation of insulin release by arginin-vasopressin in normal mouse islets // Biol. Chem. 1990. V. 256. № 26. P. 238-291.
19. *Гавриленко В.Г.* Клиническое обоснование применения окситоцина в комплексном лечении диабетических гнойно-некротических поражений стоп. Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. Оренбург, 2000.
20. *Lambert G.P.* Stress-induced gastrointestinal barrier dysfunction and its inflammatory effects // J. Anim. Sci. 2009. № 87. P. 101-108.
21. *Lesouhaitier O., Veron W., Chapalain A. et al.* Gram-Negative Bacterial Sensors for Eukaryotic Signal Molecules // Sensors. 2009. № 9. P. 6967-6990.
22. *Hogan J.S., Todhunter D.A., Smith K.L. et al.* Growth responses of coliform bacteria to recombinant bovine cytokines // J. Dairy Sci. 1993. № 76. P. 978-982.
23. *Luo G., Niesel D.W., Shaban R.A. et al.* Tumor necrosis factor alpha binding to bacteria: evidence for a high-affinity receptor and alteration of bacterial virulence properties // Infect. Immun. 1993. № 61. P. 830-835.
24. *Denis M., Campbell D., Gregg E.O.* Interleukin-2 and granulocyte-macrophage colony-stimulating factor stimulate growth of a virulent strain of *Escherichia coli* // Infect. Immun. 1991. № 5. P. 1853-1856.
25. *Zav'yalov V.P., Chernovskaya T.V., Navolotskaya E.V. et al.* Specific high affinity binding of human interleukin 1 beta by Caf1A usher protein of *Yersinia pestis* // FEBS Lett. 1995. № 371. P. 65-68.
26. *Wu L., Holbrook C., Zaborina O. et al.* *Pseudomonas aeruginosa* expresses a lethal virulence determinant, the PA-I lectin/adhesin, in the intestinal tract of a stressed host: the role of epithelia cell contact and molecules of the quorum sensing signaling system // Ann. Surg. 2003. № 238. P. 754-764.
27. *Романова Ю.М., Алексеева Н.В., Степанова Т.В. и др.* Влияние фактора некроза опухоли на размножение вегетативных и некультивируемых форм сальмонелл // Журнал микробиологии. 2002. № 4. С. 20-25.
28. *Петровский А.С.* Структурная модификация ферментных белков для изменения эффективности катализируемых реакций. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. М., 2012.
29. *Майер Э.* Второй мозг. М.: Альпина НОН-фикшн, 2018.
30. *Camara J., Wang Z., Nunes-Fonseca C. et al.* Integrin-mediated axoglial interactions initiate myelination in



- the central nervous system // *The J. of cell biology*. 2009. V. 185. P. 699-712.
31. Бурмистрова А.Л., Филипова Ю.Ю., Тимофеева А.В. Микробный консорциум и окситоцин в социальном поведении детей с расстройствами аутистического спектра // *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии*. 2018. № 4. С. 62-67.
  32. Sudo N., Chida Y., Aiba Y. *et al.* Postnatal microbial colonization programs the hypothalamic-pituitary-adrenal system for stress response in mice // *J. Physiol.* 2004. V. 558. P. 263-275.
  33. Тарасенко В.С., Фадеев С.Б., Бухарин О.В. Хирургическая инфекция мягких тканей (клинико-микробиологический аспект). Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2015.
  34. Poutahidis T., Kearney S.M., Levkovich T. *et al.* Microbial symbionts accelerate wound healing via the neuropeptide hormone oxytocin. 2013. *PLoS One* 8: e78898.

## MECHANISMS OF THE NATURAL DEFENSES OF HOSTS TO INFECTION

© 2019 O.V. Bukharin

*FSIS (Federal State Institution of Science) Orenburg Federal Research Center of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences,  
Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia  
E-mail: onckadri@mail.ru*

Received 27.12.2018

Revised version received 27.12.2018

Accepted 15.04.2019

The relationship of humans and microbes is an eternal topic. Do microbes bring any benefits or only harm? As years pass, new microbiological technologies appear, new facts regarding the coexistence of microbes and human are discovered, and new understanding of our life together with microbes is achieved. The mechanisms of the host's natural defenses from infection are considered in this article, with three participants of this chain examined in particular: the hypothalamic-pituitary system, oxytocin, and microbiota. Outwardly, these structures are independent of each other: the central switchboard that provides the universal regulation of our behavior, decision-making, and health is the human brain. It regulates the work of the main vital organs through the production of the neurohormone oxytocin, and it was recently discovered that intestinal microflora (microbiota) participates in this regulation. Thus, the loop is closed, and the question arises: do microbes really control us? Let us examine this more closely.

**Keywords:** hypothalamic-pituitary neurosecretory system, oxytocin, microbiota, microsymbiogenesis, infection, homeostasis, persistence.

## ИСТОРИЯ АКАДЕМИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

### НГУ – УНИВЕРСИТЕТ НОВОГО ТИПА

© 2019 г. М.П. Федорук\*, О.Е. Яковлева\*\*

*Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия*

*\*E-mail: rector@nsu.ru; \*\*E-mail: o.yakovleva@post.nsu.ru*

Поступила в редакцию 04.02.2019 г.

Поступила после доработки 29.04.2019 г.

Принята к публикации 16.05.2019 г.

В статье рассматривается история становления Новосибирского государственного университета в контексте первых лет истории новосибирского Академгородка — крупнейшего научного центра в восточной части страны. Излагается логика формирования системы подготовки исследователей: физико-математическая школа — университет — институты Сибирского отделения РАН. Описываются основные характеристики принципа "образование через исследования", современное состояние университета, планы на будущее.

**Ключевые слова:** Новосибирский государственный университет, высшее образование, "треугольник Лаврентьева", СО РАН, Проект 5-100.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-5873898851-859>

В 2019 г. Новосибирскому государственному университету исполняется 60 лет. Созданный по образу и подобию Московского физико-технического института и предназначенный быть кузницей кадров для одной из самых высокоинтеллектуальных индустрий — науки, НГУ остаётся одним из лидеров среди российских вузов, уникальным учебным заведением, наиболее тесно интегрированным в Российскую академию наук. Первый его ректор академик АН СССР и АН Грузинской ССР Илья Несторович Векуа так описывал специфику зарождавшегося вуза: "Новосибирский университет — это не только новое высшее

учебное заведение. Он явится университетом нового типа. У него не будет собственных лабораторий, вся учебная и научная деятельность университета строится на базе научно-исследовательских институтов и промышленных предприятий" [1]. Таким образом, НГУ изначально задумывался как значимая часть знаменитого "треугольника Лаврентьева", одна из вершин которого ассоциировалась с кадрами для науки.

Сегодня этот концепт переживает второе рождение: спустя 62 года после основания Сибирского отделения РАН именно модель "наука—кадры—производство" признаётся базовой для организации эффективной системы разделения труда в пределах научного центра. Можно обсуждать вариации развития этого треугольника, который в современных дискуссиях иногда достраивается до квадрата — с важным новым компонентом в виде интересов региона, но неоспорим факт, что сама идея тесной связи образования, науки и индустрии, реализованная в Новосибирском научном центре, безусловно, прошла проверку временем.

Именно эта установка определила специфику учебных планов (а НГУ получил право работать по индивидуальным планам), структуру учебного процесса. И хотя учёный совет университета ежегодно корректирует содержание образования, исходя из требований жизни и достижений науки, основные принципы вот уже 60 лет остаются



ФЕДУРУК Михаил Петрович — член-корреспондент РАН, ректор НГУ. ЯКОВЛЕВА Ольга Евгеньевна — кандидат филологических наук, доцент кафедры общего и русского языкознания Гуманитарного института НГУ.



У макета будущего Академгородка отцы-основатели Сибирского отделения АН СССР. Слева направо: академики С.А. Христианович, С.Л. Соболев, М.А. Лаврентьев, А.А. Трофимук. 1959 г.

ся неизменными. Во-первых, это максимальная концентрация общенаучных дисциплин на первых трёх курсах обучения. Во-вторых, качество преподавания: лекционные курсы, практические, лабораторные и семинарские занятия ведут высококвалифицированные специалисты, широко привлекаются для этих целей учёные из институтов СО РАН.

Два последних курса отведены для исследовательской работы в научных институтах, где студент ведёт самостоятельное исследование или выполняет какую-то часть коллективной работы сотрудников института. Территориальная близость университета и институтов позволяет студентам активно участвовать в проводимых там семинарах, научных совещаниях и конференциях, знакомиться с последними научными достижениями, получать представление об актуальных проблемах науки, встречаться с крупными учёными, работающими в СО РАН, а также приезжающими из других городов страны и из-за рубежа, непосредственно участвовать в научном поиске.

Неформальный девиз НГУ: "Мы не сделаем вас умнее — мы научим вас думать". На протяжении десятилетий в университете складывалась уникальная интеллектуальная творческая атмосфера, притягивавшая талантливых ребят со всей страны. С самых первых лет свобода мыслить и выражать свои мысли была визитной карточкой вуза. Эти ценности пережили неблагоприятные для российской высшей школы и науки 1990-е годы, выстояли в коммерчески ориентированные нулевые и остаются актуальными сегодня, когда перед университетом стоит задача выхода на глобальный рынок высшего образования.

Снова становится актуальным поиск эффективных моделей организации высшего образования — не виртуальных, а оказавшихся успешными в России. В этой связи стоит посмотреть на НГУ как на структуру, многие элементы которой вполне пригодны к тиражированию.

**Новосибирский предуниверсарий.** Физико-математическая школа им. М.А. Лаврентьева, в 1988 г. переименованная в Специализированный учебно-научный центр (СУНЦ) НГУ, неофициально, под личную ответственность первого председателя СО АН СССР академика М.А. Лаврентьева, была открыта 21 января 1963 г., когда лекцию для первых 119 учеников ФМШ прочитал член-корреспондент АН СССР А.А. Ляпунов. Официальное же её открытие (наряду с ещё тремя подобными школами-интернатами в Москве, Ленинграде и Киеве) состоялось позднее, сразу после принятия 23 августа 1963 г. соответствующего постановления Совета министров СССР.

За 56 лет существования технология работы школы мало изменилась: отбирать талантливых ребят из глубинки с помощью системы олимпиадного движения, погружать их в атмосферу науки в Летней школе и приглашать самых мотивированных продолжить обучение в школе-интернате. Несмотря на название — физико-математическая, ФМШ нельзя понимать узко, как подготовку в области исключительно точных наук. Современный СУНЦ — это ещё и мощный химико-биологический, а также новый для школы инженерный профиль, качественное образование в области социогуманитарных наук, а также широчайший спектр спецкурсов — их более 150. Все курсы авторские и читаются ведущими учёными Новосибирского научного центра и преподавателями НГУ.

СУНЦ НГУ выполняет важную социальную функцию: существующая система отбора позволяет выявлять талантливых школьников, которые часто не находят себя в рамках традиционных учебных заведений. Многие ребята, поступая в физматшколу, открывают или переоткрывают для себя науки, которые в их часто неплохой общеобразовательной школе представлялись им скучными, оторванными от реальной исследовательской практики, слишком нацеленными на единственный для обычной школы ключевой показатель эффективности — сдачу ЕГЭ. Во многом успех новосибирского предуниверсария объясняется тем, что учебный процесс построен по системе, максимально приближенной к вузовской, — с лекциями, семинарами и лабораторными работами, широким использованием специальных заданий повышенной трудности, приобретением опыта экспериментальной работы и исследовательских навыков на практикумах. Не менее важно, что такая система предполагает серьёзную



внеаудиторную нагрузку, которая, в свою очередь, формирует ценные навыки: высокий уровень самоорганизации и планирования своей жизни, умение работать в команде, аргументированно отстаивать собственную точку зрения.

В составе СУНЦ НГУ более 50 лет работает Заочная школа, которая даёт возможность высококачественного дистанционного образования тысячам школьников 40 регионов Сибири, Урала, Дальнего Востока и стран СНГ. Выбирая любой из восьми предметов – математику, физику, химию, биологию, русский, английский, немецкий, французский языки, более 25% поступивших в Заочную школу учатся индивидуально, остальные – в факультативных группах. Физматшкола предлагает новые возможности и школьным педагогам: система "Коллективный ученик" позволяет учителям из разных регионов объединяться и взаимодействовать в рамках 144 факультативных групп по разным предметам.

В настоящее время СУНЦ НГУ стал признанным экспериментальным центром по созданию широкого спектра учебных программ и стандартов, интерактивных средств обучения, многоуровневых учебников. Серии учебников по математике отмечены премиями Президента РФ и Правительства России. Сборники задач по физике переведены на несколько языков и используются в учебном процессе других стран. А по учебнику общей биологии под редакцией академика РАН В.К. Шумного и заведующего кафедрой естественных наук СУНЦ НГУ профессора Г.М. Дымшица сегодня учится вся страна.

Внеучебная жизнь учащихся физматшколы – не менее важный компонент образования, чем занятия в аудиториях. Система СУНЦ выстроена таким образом, чтобы воспитывать в школьниках стремление к лидерству, ответственность за свою жизнь в самом широком смысле, равнодушие к миру вокруг. Результат такого подхода – тысячи успешных людей, пополняющих образовательную, научную, культурную и бизнес-элиту России. Неудивительно, что приблизительно каждый четвёртый выпускник физматшколы становится кандидатом наук, а само учреждение регулярно получает подтверждение качества своего образования в различных рейтингах<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> В 2018 г. СУНЦ НГУ занял третье место в ежегодном рейтинге агентства RAEX (РАЭК-Аналитика) по количеству выпускников, поступающих в лучшие вузы России. В 2017 г. в пятом рейтинге сильнейших школ России по показателям ЕГЭ, Всероссийских и международных олимпиад, составленном Московским центром непрерывного математического образования, СУНЦ НГУ занял 18-е место (первое среди образовательных учреждений за Уралом) и вошёл в Топ-25 лучших школ России.

Успешный опыт новосибирской ФМШ не остался незамеченным в мировой образовательной практике. Многие страны широко использовали опыт создания физматшкол, опыт работы с талантливыми детьми в специализированных образовательных учреждениях. В частности, в Южной Корее создана Korean Science Academy по принципам, которые были положены в основу создания советских ФМШ и специализированных учебных центров. Не так давно эта академия стала структурным подразделением ведущего южнокорейского университета и одного из лучших технологических вузов мира – KAIST.

**"Мы развили дальше идею Физтеха".** СУНЦ НГУ выполняет не только функцию поставщика высокомотивированных абитуриентов: 60% выпускников школы-интерната составляют 10% набора университета. Физматшкола, по сути, – тот самый общий первый курс, который является распространённой практикой в западных университетах и пока мало внедрён в систему российского высшего образования. Два года предвуниверситария дают возможность попробовать свои силы в разных науках и в итоге выбрать оптимальное направление. Это становится возможным за счёт всестороннего образования с углублённым изучением физики, химии, математики и биологии вне зависимости от типа класса – физико-математического, химико-биологического или инженерного.

## КАРТОФЕЛЬ УБРАН

Все активнее становится соревнование рабочих совхоза № 1 Новосибирского района в честь Пленума ЦК КПСС. Высоких трудовых показателей добились полеводы. Они полностью завершили уборку картофеля на 272 гектарах. Первым справился с этой задачей коллектив Чиковского

отделения, получавший по 130 центнеров клубней с гектара. В среднем по совхозу выращено по 110 центнеров.

В совхозе на полмесяца раньше прошлогоднего полностью засыпан семенной фонд картофеля — 1.000 тонн.

## Новосибирский университет открыт

Открытие Новосибирского государственного университета было посвящено торжественное заседание, на котором присутствовали профессора, преподаватели, студенты нового высшего учебного заведения, представители партийных, советских организаций и предприятий. На открытие университета прибыли гости из Москвы и других городов страны.

Заседание краткой вступительной речью открыл министр высшего и среднего специального образования РСФСР т. Столетов. С докладом выступил ректор университета академик И. И. Векун, отметивший большую заботу партии и правительства о развитии высшего образования и науки в стране.

От общественности города, учебных, коллективов заводов и фабрик, строев собравшихся приветствовали т. Лигаев, академик т. Христианович, токарь завода «Сибсельмаш»

т. Курбатов, студент университета строитель научного городка т. Романенко и другие. В адрес университета поступили поздравления от Министерства высшего и среднего специального образования СССР, академика т. Курчатова, от Московского, Ленинградского, Казахского, Харьковского, Тбилисского, Ереванского, Белорусского и других университетов.

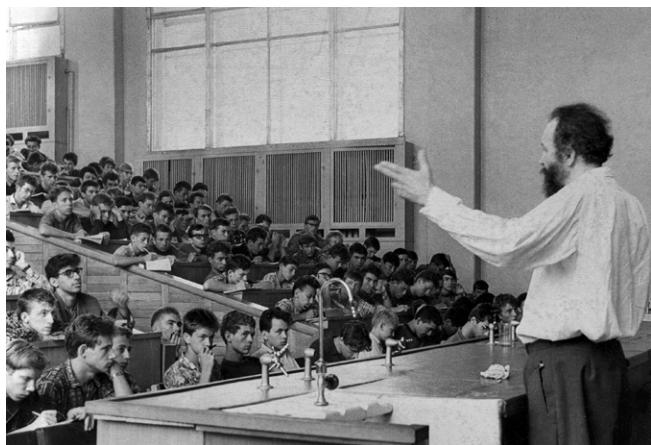
Торжественное заседание приняло приветственное письмо ЦК КПСС. Его зачитал академик т. Соболев.

Для участников заседания был дан концерт.

\* \* \*

Вчера в университете был первый день занятий. Первокурсники прослушали две вводные лекции: по математике — академик С. Л. Соболев, по физике — члена-корреспондента Академии наук СССР А. М. Будкера.

Публикация в газете "Советская Сибирь" от 29 сентября 1959 г. характеризует приоритеты того времени



Член-корреспондент АН СССР А.А. Ляпунов читает лекцию в Большой физической аудитории НГУ. 1960-е годы

А далее важно встроить способных ребят в систему университетского образования. Когда-то основатель Сибирского отделения М.А. Лаврентьев так описал его принципы: «В Новосибирске нам была предоставлена уникальная возможность — создать высшее учебное заведение, идеально приспособленное для соединения образования с наукой. Мы развили дальше идею Физтеха, потому что смогли обеспечить университет крупными учёными-преподавателями практически по всем направлениям науки на всех факультетах: механико-математическом, физическом, естественных наук (то есть по химии и биологии), геологическом, экономическом, гуманитарном. Сибирское отделение с первого дня считало университет своим кровным делом и, надо сказать, немало попортило себе крови, чтобы добиться реализации названных принципов. Были люди, которые считали, что наш университет должен "идти в ногу", развиваться по давно установленным стандартам, а Сибирское отделение всё время, как могло, ломало эти стандарты, стараясь создать учебное заведение нового типа, максимально приближенное к науке» [2].

Сразу после своего открытия университет размещался в здании обычной школы (сегодня это гимназия № 3 в Академгородке). У зарождающегося научного центра не было возможности ждать четыре драгоценных года — кадры для институтов нужны были здесь и сейчас. Несколько публикаций о концепции будущего университета от лица первого ректора И.Н. Векуа в местной прессе и общесоюзной "Правде" способствовали тому, что на 1 курс было подано 1023 заявления. По итогам вступительных испытаний, проводившихся на выезде, в Сибирском строительном институте, на очное и заочное отделения были приняты 308 человек.

В. Евстигнеев, один из первых выпускников НГУ из так называемого "набора 1958 года" — студентов, взятых из других вузов сразу на 2 курс, так описывал свой первый год в альма-матер: "Вечерами вспыхивали жаркие дискуссии в одной из комнат общежития. Надолго затягивались беседы с деканом единственного тогда факультета Б.О. Солоноуцем. О чём беседовали, спорили? Да, кажется, нет такой темы, которую мы бы обошли. Литература, живопись, музыка, история, различные вопросы науки и нашей повседневной жизни. А в ней не последнее место занимал спорт, особенно лыжи... И над всем этим — невыразимое своеобразие жизни в городке. Где ещё бывает такое: зачёт по дифференциальной геометрии сдавали в лесу за университетом, и столом для преподавателя служил самый обыкновенный пень" [3]. Спустя год после открытия НГУ газета "Вечерний Новосибирск" писала о его первых днях: "Наверное, ещё ни у одного университета не было такого начала: палаточный городок в сосновом лесу, красные флажки на высокой мачте. По шоссе идут и идут грузовики со строительными материалами. И не умолкает там, за зелёным гребешком бора, шум стройки" [4].

В университете с самого его рождения было много уникальных для советской системы высшего образования компонентов, которые на многие десятилетия заложили основу идентичности, так называемого "гена НГУ". Подводя итоги первых пяти лет, проректор НГУ Р.И. Солоухин так формулировал три принципа нового вуза: тщательный отбор поступающих, связь с институтами СО АН и глубокая физико-математическая подготовка для всех [5].

**"Здесь не потерпят равнодушия к науке".** Вплоть до введения ЕГЭ НГУ, как и несколько других лучших университетов страны, принимал вступительные экзамены в так называемую "первую волну", то есть почти на месяц раньше, чем основная часть вузов. Но главное отличие этих экзаменов состояло вовсе не в сроках сдачи, а в том, по каким качествам отбирались поступающие. И.Н. Векуа так описывал портрет будущего абитуриента: "Двери университета широко раскрываются для тех, кто проявляет способности и любовь к науке, настойчивость и упорство в труде и учёбе, кто имеет хорошую подготовку по математике, физике, химии и другим предметам в объёме программы средней школы" [6]. Однако школьная программа — далеко не всё, что проверялось на вступительных экзаменах. С первых лет в НГУ отбирали людей неординарных, из которых университет должен был вырастить учёных в истинном понимании этого слова. Поэтому устные экзамены иногда длились по несколько часов. Абитуриентов не спрашивали — с ними



разговаривали: именно так можно рассмотреть личность. В письменных испытаниях экзаменаторы оценивали не только и не столько правильный ответ, а ход решения, способность мыслить нестандартно. Студенты физфака, поступившие в НГУ в 1959 г., вспоминали: "На первом же экзамене по физике, который каждый сдавал по четыре часа, мы поняли, что поступаем в необычный вуз. Здесь не потерпят пассивности, равнодушия к науке" [7]. Такой подход позволял увидеть будущего учёного и в учащемся физико-математической школы, и в выпускнике из сельской глубинки. Поэтому состав студентов НГУ всегда был неоднородным, что рождало особую среду, плавильный котёл, в котором легко перемешивалось разное и создавалось новое.

Надо сказать, что подобная практика – видеть в абитуриенте человека, а не знания – применяется лучшими вузами мира: наряду с результатами тестов, не меньший, а иногда и больший вес имеют мотивационное письмо, портфолио и социальный портрет будущего студента. Всё это – современный аналог личной беседы на экзамене, позволяющий получить важную дополнительную информацию к оцифрованным результатам экзамена и составить комплексное представление об абитуриенте и его мотивации. Думается, именно в эту сторону должны двигаться лучшие вузы России.

**"Сейчас решается проблема..."**. Уникальной особенностью НГУ с самого начала было нахождение вуза в составе СО РАН, хотя и не де-юре,

а де-факто, потому что, несмотря на все попытки, предпринятые М.А. Лаврентьевым в 1960-х годах, университет так и не перешёл из Минвуза в Сибирское отделение Академии наук. В 1961 г. ректор И.Н. Векуа писал на страницах газеты "Известия": «Всё ещё не разработаны с достаточной чёткостью организационные формы связи Новосибирского университета с Сибирским отделением АН СССР, хотя по самому замыслу своему они должны быть связаны – и на деле связаны – теснейшим образом. Мы не имеем, например, права беспрепятственно приглашать на работу в университет научных сотрудников академических институтов. Всякий раз мы должны обращаться за разрешением в Министерство высшего и среднего образования СССР. Между тем надо иметь в виду, что у нас это совместительство – не временное, "не желательное" явление, а характернейшая особенность всей нашей работы» [8]. В той же статье ректор сформулировал взгляд на университет, приобретающий новую актуальность в современную эпоху: "Надо ли доказывать, что в такой тесной связи между университетом и академическими институтами равно заинтересованы обе стороны. Весь наш опыт говорит о правильности курса на создание крупных научно-учебных центров, соединяющих научные исследования с высшим образованием" [8]. Согласно уставу НГУ, утверждённому в 1962 г., отношениям с СО АН СССР придавался приоритетный характер, это касалось, в частности, первоочередного распределения выпускников в институты Академгородка.



Первый ректор НГУ академик И.Н. Векуа с первыми выпускниками университета. 1960-е годы



Несмотря на отсутствие юридического единства НГУ и подразделений СО РАН, доступ студентов к проектам мирового уровня по-прежнему является важнейшим принципом образования в университете: "Сейчас уже для всех бесспорна та истина, что воспитать учёного можно только на переднем крае науки. Наилучших результатов студенты добиваются там, где получают знания из первых рук, где их воспитывают люди, которые сами двигают науку вперёд" [8].

Традиционные форматы — лекции, семинары, лабораторные работы — были базовыми в НГУ, как и во многих других вузах страны, но лишь на первых двух курсах. Начиная с пятого семестра лекции занимали всё меньше места в учебном плане, а всё больше — работа в составе научной группы одного из институтов СО РАН, решающей актуальную исследовательскую задачу. Примеров таких задач было немало уже в самом первом, пилотном выпуске: «В работе В. Захарова (руководитель — проф. Р.З. Сагдеев) "О сингулярных волновых уравнениях" выясняются некоторые условия, необходимые для того, чтобы квантовая теория поля была математически корректной... Среди дипломантов — выпускников механико-математического факультета особый интерес вызывает работа Ю. Ершова (руководитель — академик А.И. Мальцев), состоящая из двух опубликованных статей... Разрешимость теории классов всех абелевых групп была доказана польским математиком И. Шмелёвой. Результаты Ершова представляют собой ценное дополнение к этой классической теореме» [9].

В НГУ многие лекционные курсы — по иммунологии, биофизике, генетике, кибернетике, биоинформатике — читались впервые в стране. Университет не боялся экспериментальных тем и новых лекторов, преподаватели часто начинали лекции словами: "Сейчас решается проблема..." [10]. Как вспоминает академик РАН Ю.Л. Ершов [11], студенты не боялись задавать "глупых" вопросов — имели право на ошибку, которое должен давать и современный университет. При этом практически не существовало дистанции — возрастной и социальной — между студентами и преподавателями, которые часто были старше аудитории всего на несколько лет.

Одна из отличительных черт "раннего" НГУ, в некотором объёме утраченная в 1990-е годы, — обязательное изучение математики и физики на любом факультете, включая социогуманитарные. Выпускница первого набора Л.Г. Лавренова вспоминала: "На 1 курсе мы были сильно загружены и, главное, задавлены физикой. Физике для всех первокурсников, независимо от специальности, читал Г.И. Будкер, который в то время жил ещё в Москве. Когда он приезжал, все

остальные занятия отменялись, и мы все вместе в конференц-зале слушали лекции по физике... Учебников не было. Учебник Фриша и Тиморевой, по которому учились тогда все остальные университеты, подвергался нашими физиками огульному охаиванию, и нам по нему учиться не разрешали. У математиков порядка было больше. Добротные лекции по математике читал нам декан Б.О. Солоноуц" [12, с. 368]. Представляется, что нелишне ещё раз изучить этот опыт и вернуть естественно-научный компонент в образование гуманитариев.

Однако не все новации, которыми отмечены первые годы существования университета, оказались одинаково жизнеспособными — в 1965 г. на страницах газеты "За науку в Сибири" это признала администрация университета. Сократили время обязательных занятий в пользу спецкурсов и конференций — на них мало кто ходит; возможностью быть сотрудником настоящей научной лаборатории некоторые студенты начинают пользоваться лишь накануне защиты диплома; появились первые свидетельства "синдрома ФМШ", когда у студента — выпускника физматшколы — возникает необоснованное представление, что он всё уже знает и может не посещать занятия [13].

**Университет в контексте новых задач.** Сегодня НГУ, 60 лет назад начавшийся с одного факультета — естественных наук, представляет собой классический университет, в котором присутствует спектр направлений: от физики до философии. В его структуре действуют 112 кафедр, 3 института, 6 факультетов, физико-математическая школа (СУНЦ НГУ), Высший колледж информатики, 128 научно-исследовательских лабораторий, 36 учебно-научных центров и лабораторий, медицинский центр, институт переподготовки и повышения квалификации, научная библиотека НГУ, которая содержит более 2 млн единиц хранения. Как и десятилетия назад, преподавательский состав на естественно-научных направлениях на 90% составляют сотрудники исследовательских институтов. Студенты, как и в годы формирования университета, начиная с 3 курса работают над своими проектами в научных лабораториях Сибирского отделения.

Современный НГУ — по-прежнему довольно камерный вуз. Несмотря на то, что, по сравнению с позднесоветским периодом, состав студентов, получающих образование различных уровней, довольно значительно увеличился — с 4500 до 7500, это существенно меньше, чем в некоторых российских университетах, как и НГУ, получивших в конце "нулевых" годов статус исследовательских.

Логика современного образования, которое после реформ 1990-х годов постепенно переходит на рыночные механизмы, требует в числе прочих

ответа на вопрос о размере учебного заведения, его позиционировании — каких специалистов и для каких сфер готовит вуз, на какие уровни образования сделана стратегическая ставка, какой тип образования — элитное или массовое — предлагает абитуриентам.

На некоторые из этих вопросов ответ очевиден: исследовательский — не по статусу, а по изначально заложенному предназначению — университет, призванный готовить интеллектуальную элиту и на протяжении десятилетий подтверждающий свой статус, не может работать в формате "для всех". Другой вопрос — пригодны ли механизмы, предлагаемые российским вузам для приема абитуриентов (ЕГЭ в первую очередь), для решения ответственной задачи отбора людей, способных творчески и неравнодушно воспринимать окружающую действительность, ставить задачи опережающего характера, предлагать прорывные технологические решения? На наш взгляд, существующие механизмы вряд ли справляются с этой задачей. Поэтому возникшая недавно дискуссия об особом статусе и условиях для лучших вузов страны [14] представляется как никогда актуальной.

Вопрос о том, какой тип человека должен стать продуктом Новосибирского государственного университета, также представляется небанальным. Можно утверждать, что за 60 лет НГУ создал уникальную технологию подготовки исследователей. Однако в перспективе вуз ставит своей задачей развить сегмент высокоинтеллектуальной инженерии и технологического предпринимательства, которые позволят Новосибирскому научному центру преодолеть разрыв между фундаментальными исследованиями и рыночными ре-

шениями. В 2019 г. открывается первая программа Инженерной школы НГУ на уровне бакалавриата.

И это лишь часть вызовов, с которыми университет столкнулся в XXI веке. А есть и новые: необходимость быть истинно автономным (это касается и финансовой устойчивости), научиться воспитывать инновационное мышление, оказывать значительное влияние на регион и быть одним из якорных элементов его развития. Без этих ориентиров невозможно построить стратегию развития университета, готового быть полноправной частью новых систем разделения труда.

С 2013 г. университет участвует в Проекте 5-100, целью которого является повышение международной конкурентоспособности ведущих российских университетов. Это значит, что исследовательское образование НГУ должно удовлетворять требованиям глобальной аудитории. Университет идет по этому пути методом проб и ошибок. Но уже есть и очевидно успешные примеры: англоязычная программа специалитета General Medicine пользуется стабильным спросом абитуриентов из-за рубежа — ежегодно повышается качество набора, существенно расширяется география. Показала себя востребованной программа летних исследовательских стажировок — ежегодно более 50 студентов Высших школ Франции приезжают в Академгородок и работают в научных лабораториях. Регулярный приток иностранных студентов обеспечивает Китайско-российский институт (КРИ), функционирующий одновременно на базе НГУ и Хэйлунцзянского университета с 2011 г. Это первый российский проект такого масштаба: порядка 1000 студентов КРИ обучаются по шести направлениям подготовки на всех уровнях образования.



Новый корпус НГУ © Фото А. Антощенко



Безусловно, важно то, как НГУ видится из "большого мира": начиная с 1960-х годов Академгородок, во многом уникальное для системы советской науки место, регулярно становился площадкой крупных международных симпозиумов и конференций, а университет нового типа как важную часть этого эффективного "предприятия" по производству исследований в обязательном порядке включали в программу посещения зарубежных делегаций. Однако и современная история НГУ в немалой степени работает на укрепление созданной репутации: университет участвует в 38 международных коллаборациях, из которых 18 — в области физики элементарных частиц, включая всемирно известные эксперименты на Большом адронном коллайдере.

Следствием фундаментальных открытий в области физики частиц становятся инновационные технологические решения. В настоящее время университет совместно с Институтом ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН реализует проект Центра бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ), в основе которого лежит уникальная технология лечения онкологических заболеваний. В ИЯФ СО РАН создан действующий прототип компактного ускорительного источника эпитепловых нейтронов с лучшими в мире терапевтическими параметрами, специально оптимизированными для проведения терапии такого типа [15]. Установка позволяет говорить о возможности гораздо более безопасной и эффективной альтернативы существующей технологии БНЗТ с использованием ядерного реактора. Это принципиально новое направление в радиоонкологии, открывающее широчайшие перспективы, в числе которых — появление терапии для целой категории больных, ранее считавшихся неизлечимыми. Таким образом, проект создания на базе НГУ первого в мире центра БНЗТ с ускорительным источником нейтронов — это попытка создания принципиально нового рынка медицинских услуг в российском и глобальном масштабе.

Университет является одним из крупнейших международных центров в области фотоники и квантовых технологий. В НГУ ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы для крупнейших корпораций — таких как "Эрбас" и Европейское космическое агентство. Уровень предлагаемых решений подтверждается и признанием международного академического сообщества: статья исследователей Центра нелинейной фотоники НГУ, опубликованная совместно с коллегами из университета Астон (Великобритания), Технического университета Дельфт (Нидерланды), Университета Бен-Гурион (Израиль) и компании Nokia Bell Labs (Германия) в ведущем международном журнале

Американского оптического общества Optica [16], заняла второе место среди наиболее цитируемых статей этого журнала в 2017 г., а также была отмечена международной базой данных Web of Science как попавшая в топ 1% наиболее цитируемых статей того же года в области физики. Статья посвящена разработке механизмов преодоления нелинейных эффектов в современных оптоволоконных системах связи, основанных на использовании математического метода, разработанного выпускником НГУ Владимиром Захаровым и Алексеем Шабатом ещё в 1971 г.

После открытия Денисовского человека в 2008 г. об исследованиях новосибирских археологов узнал весь мир. Однако эта сенсация не стала единственной: спустя 10 лет, в 2018 г., учёные университетского центра "Новая археология" и Института археологии и этнографии СО РАН совместно с коллегами из Германии, Великобритании и Канады изучили ДНК находки, сделанной в 2012 г., и выяснили, что 50 тыс. лет назад на Алтае существовали потомки двух разных подвидов людей — неандертальцев и денисовцев, что ранее считалось невозможным [17].

Таким образом, Академгородок, как и 60 лет назад, служит площадкой для обсуждения самых горячих тем современности. Как результат — второе место НГУ в стране в международном рейтинге QS World University Rankings (231 позиция в мире), Топ-100 в предметных рейтингах по физике и астрономии, естественным наукам и горному делу.

Что дальше? В 2018 г. Президент РФ поставил задачу по созданию не менее 15 научно-образовательных центров (НОЦ) мирового уровня на основе интеграции университетов и научных организаций и их кооперации с предприятиями реального сектора. НОЦ предлагается рассматривать как современный инструмент, обеспечивающий разработку и создание таких форм взаимодействия научных, образовательных и инновационных организаций, которые способны предложить принципиально новые востребованные решения и обеспечить глобальную конкурентоспособность российской экономики по приоритетным направлениям научно-технологического развития и стратегически важным отраслям.

Новосибирская область с её высокой концентрацией исследований и разработок, научным и образовательным ядром, сосредоточенным в новосибирском Академгородке, объективно является одним из наиболее перспективных регионов для создания НОЦ, а Новосибирский университет, безусловно, может и должен выступить в роли интеграционной площадки. Стоит отметить, что эта роль для НГУ не новая. С 2016 г.



на базе университета действуют стратегические академические единицы – консорциумы с исследовательскими институтами, созданные по самым перспективным направлениям развития науки и технологий: новая физика, низкоразмерные гибридные материалы, синтетическая биология, квантовые технологии, трансляционная медицина и др. Таким образом, создание НОЦ должно стать следующим этапом интеграционного процесса, в который естественным образом будут включены предприятия реального сектора. Для университета немаловажен и тот факт, что впервые за 60 лет и он, и институты подчинены одному министерству. Новое качество взаимодействия НГУ с академическими и бизнес-партнёрами призвано усилить не только его собственные позиции на глобальной арене. По нашему мнению, Академгородку давно пора стать единым научным центром, таким как Стэнфорд или Массачусетский технологический институт.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Векуа И. Н. Университет нового типа // Правда. 1959. 19 июня.
2. Лаврентьев М. А. ...Прирастать будет Сибирью. Новосибирск: Западно-Сибирское кн. изд-во, 1982.
3. Евстигнеев В. Росли вместе с университетом // За науку в Сибири. 1964. № 44.
4. Минуло 365 дней... // Вечерний Новосибирск. 1960. 27 сентября.
5. Солоухин Р. И. Итоги пятилетия // За науку в Сибири. 1964. № 46.
6. Векуа И. Н. Университет нового типа // Правда. 1959. 19 июня.
7. Коптилова Н. Дни молодого вуза // Вечерний Новосибирск. 1962. 13 марта.
8. Векуа И. Н. Нет учёных без учеников // Известия. 1961. 8 июня.
9. Солоухин Р. Первые дипломы // За науку в Сибири. 1963. 23 декабря.
10. Коптилова Н. Дни молодого вуза // Вечерний Новосибирск. 1962. 13 марта.
11. Ершов Ю. Л. "Ну что ещё придумывать? Поддерживать надо!" // НГУ вчера, сегодня, завтра. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2009.
12. Лавренова Л. Г. Так начинался университет // Наука. Академгородок. Университет. Воспоминания. Очерки. Интервью. Вып. 1. Новосибирск: НГУ, 1999. С. 367-372.
13. Солоухин Р. В духе лучших традиций // За науку в Сибири. 1965. № 42.
14. Волков А., Мельник Д. Автономность и публичность университета // Ведомости. 2017. 1 февраля. <https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2017/02/01/675685-avtonomnost-universiteta>
15. Таскаев С. Ю. Ускорительный источник эпитепловых нейтронов // Физика элементарных частиц и атомного ядра. 2015. № 6. С. 1770-1830.
16. Turitsyn S. K., Prilepsky J. E., Le S. T. et al. Nonlinear Fourier transform for optical data processing and transformation advances and perspectives // Optica. 2017. V. 4. № 3. P. 307-322.
17. Slon V., Shunkov M. V., Derevianko A. P. et al. The genome of the offspring of a Neanderthal mother and a Denisovan father // Nature. 2018. V. 561. P. 113-116.

## NOVOSIBIRSK STATE UNIVERSITY – A NEW TYPE OF UNIVERSITY

© 2019 M.P. Fedoruk\*, O.E. Yakovleva\*\*

*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia*

*\*E-mail: rector@nsu.ru; \*\*E-mail: o.yakovleva@post.nsu.ru*

Received 04.02.2019

Revised received 29.04.2019

Accepted 16.05.2019

The article reviews the history of the founding of Novosibirsk State University in the context of the first years of Akademgorodok in Novosibirsk, the largest scientific center in the eastern part of Russia. It describes the logic of the formation of a system for training researchers: physic and mathematic School – University – institutes of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. The main characteristics of the principle "education through research" are presented along with the current status of the University and plans for the future.

**Keywords:** Novosibirsk State University, NSU, higher education, Lavrentiev Triangle, SB RAS, Project 5-100.

---

ЭТЮДЫ  
ОБ УЧЁНЫХ

---

ОТЕЦ РУССКОЙ ФИЗИОЛОГИИ  
К 190-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ И.М. СЕЧЕНОВА

© 2019 г. А.Д. Ноздрачёв<sup>1,\*</sup>, М.А. Пальцев<sup>2,\*\*</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\*E-mail: a.d.nozdrachev@mail.ru; \*\*E-mail: cimbm@bio.msu.ru

Поступила в редакцию 17.12.2018 г.

Поступила после доработки 07.04.2019 г.

Принята к публикации 30.04.2019 г.

Очерк о выдающемся русском просветителе, естествоиспытателе, физиологе И.М. Сеченове подготовлен к 190-летию со дня рождения учёного. Рассмотрены основные этапы его научной и педагогической деятельности. Научные интересы Ивана Михайловича охватывали широкий круг физиологических проблем: физиология дыхания, обмен веществ, нервно-мышечная физиология. Особенно большой вклад Сеченов внёс в изучение центральной нервной системы, где ему принадлежат фундаментальные открытия, составляющие суть всех форм мозговой деятельности. Научные достижения И.М. Сеченова как создателя российской физиологической школы получили мировую известность и заложили основу нейрофизиологии, нейроэндокринологии, наркологии, биофизики, сравнительной и эволюционной физиологии, естественно-научного направления в психологии. Имя Ивана Михайлова Сеченова увековечено в памяти и сердцах людей.

**Ключевые слова:** И.М. Сеченов, физиология, нейрофизиология, рефлекс, нервная система.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-5873898860-874>



Иван Михайлович Сеченов. 1860-е годы

"В лице Ивана Михайловича русский ум впервые принял участие в разработке одной из важнейших наук — физиологии. Такой почин требовал особых свойств ума, особого характера, которые и были хорошо представлены в Иване Михайловиче. Он не только начал русскую физиологию, но сразу же завоевал для неё почётное место".

И.П. Павлов

"Великие деятели науки велики не только тем, что они сами сделали во время своей жизни, но и тем, что они завещали сделать будущим поколениям. К таким великим людям в науке мы по праву причисляем нашего общего учителя И.М. Сеченова..." [1, с. 44], — эти замечательные слова, произнесённые ближайшим учеником Ивана Михайловича профессором А.Ф. Самойловым в год 100-летия Сеченова, столь же значимо звучат и теперь, когда мы отмечаем 190-летие со дня рождения учёного.

Иван Михайлов родился 1 (13) августа 1829 г. в отцовском имении Тёплый стан Симбирской губернии (ныне село Сеченово Нижегородской области). Он был младшим из восьми детей не-

---

НОЗДРАЧЁВ Александр Данилович — академик РАН, профессор СПбГУ. ПАЛЬЦЕВ Михаил Александрович — академик РАН, директор ЦИМБ биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

богатого степного помещика, отставного секунд-майора лейб-гвардии Преображенского полка, вопреки традиции женившегося на красавице-крестьянке. Соседние имения принадлежали знаменитым семействам Ляпуновых, Филатовых и Крыловых — отпрыски всех трёх позднее оставят след в науке.

По поводу образования своих многочисленных детей Сеченов-старший постановил следующее: для дочерей приглашать учителей на дом, а мальчиков науками не затруднять и одного за другим определять в военные училища. В этой стройной системе было допущено одно-единственное исключение (которому мы обязаны становлением основателя отечественной школы физиологии): младшенькому разрешили присоединиться к сёстрам в их домашних занятиях, благодаря чему он освоил немецкий и французский языки (английскому он выучится позже и самостоятельно). Учёба давалась маленькому Ване легко. Формированию его характера во многом способствовал отец, который воспитал в сыне приоритет духовности над материальной бытовщиной и карьеризмом. По примеру двух средних братьев (Рафаила и Андрея) его намеревались отдать в Казанскую гимназию. Однако после смерти отца планы изменились и 14-летнего Ивана решили устроить в Главное инженерное училище в Петербурге. В детстве он много читал, главным образом русских классиков. "Мальчик я был очень некрасивый, чёрный, вихрастый и сильно изуродованный оспой; но был, должно быть, неглуп, очень весел..." — вспоминал он в конце жизни [2, с. 4].

Для подготовки к вступительным экзаменам в училище в 1843 г. Ивана отдали в частный петербургский пансион капитана Костомарова (1800 руб. за кров, стол и учёбу). Он прошёл в училище без труда. В августе 1843 г. после сдачи вступительных экзаменов мальчик попал в холодный, жутковатый Михайловский замок, где по приказу Николая I размещалось Главное инженерное училище. За время обучения в этом привилегированном заведении (1843–1848) он получил солидные знания в области математики, физики, химии и гуманитарных дисциплин, прослушал полный курс академика М. В. Остроградского — одного из основателей петербургской математической школы. Механику в училище преподавали такие маститые профессора, как С. В. Кербедз и Г. Е. Паукер — строители Николаевского моста в Петербурге. Ученик Ю. Либиха П. А. Ильенков читал курс химии. Знания, приобретённые Сеченовым, в известной мере способствовали формированию его физико-химического подхода к изучению физиологических функций организма. Учился

он легко и по оценкам держался в первом десятке слушателей при переходе во второй класс.

В училище царил характерный для николаевских времён дух муштры и чинопочитания, наущничества и шпионства. Такая атмосфера вызвала внутренний протест у Сеченова, обладавшего прямолинейным и непримиримым характером. Когда начальник училища генерал Ломновский создал сеть осведомителей, Сеченов послал ему анонимную записку: "Смотрите, Ваше Превосходительство, не всё коту масленица, будет и Великий пост". О своём озорстве Иван рассказал товарищу, который передал куда следует. Вызванный для объяснений юноша авторства не признал и отпирался, как мог. Позднее он потребовал ещё отменить исключения из общего распорядка для сына Ломновского. В результате унтер-офицер Сеченов (под благовидным, разумеется, предлогом) не был оставлен на последний (дополнительный) год обучения и в 1848 г. отправился прапорщиком в сапёрный батальон в Киеве [2–5].

Монотонная служба тяготила И. М. Сеченова, но тут в его жизни произошла важная встреча. Товарищ по батальону познакомил его со своей родственницей, 20-летней вдовой Ольгой Александровной (предположительно, урождённая Ходорович), и молодой человек зачастил к ней. Хозяйка много рассуждала о женском равноправии, но были и другие темы. Позднее он вспоминал: "В дом её я вошёл юношей, плывшим до того инертно по руслу, в которое меня бросила судьба, без ясного сознания, куда оно может привести меня, а из её дома я вышел с готовым жизненным планом, зная, куда идти и что делать" [2, с. 18]. Когда Ольга Александровна снова вышла замуж, затосковавший Сеченов подал в отставку и уехал в Москву. Они увидятся только через 14 лет, когда Ольга привезёт своего смертельно больного мужа на консультацию к С. П. Боткину, и Иван Михайлович не скажет ей о чувствах, которые когда-то испытывал к ней. Не встретясь на его жизненном пути эта женщина, он так и остался бы офицером-сапёром, одним из тысяч. Ещё одна заслуживающая внимания "случайность": Сеченов вышел в отставку в 1851 г. Задержись он в училище на год (а он этого хотел) и ещё на один — в сапёрах, он уже не смог бы оставить службу, ведь в 1853 г. Николай I начал Восточную (Крымскую) войну. При увольнении Сеченова произвели в подпоручики и в феврале 1850 г. отпустили восвояси.

Следующий этап его биографии связан с поступлением вольнослушателем на медицинский факультет Московского университета. При въезде в старую столицу Сеченов вынужден был выслушать нотацию от старика-чиновника: "Эх, господин подпоручик, послужили без году неделю





Московский университет в XIX в.

да и в столицу прожигать родительские денежки". А денег-то у него не было вовсе. Жил бедно, минимальную помощь от семьи тратил на еду вдвоём со слугой — по 5 (!) рублей в месяц. Но трудные времена были скрашены яркими знакомствами: поэт А.А. Григорьев (1822—1864), химик и будущий композитор А.П. Бородин (1833—1887), терапевт С.П. Боткин (1832—1889), химик Д.И. Менделеев (1834—1907).

К сожалению, Московский университет, который в 1840—1850-е годы лидировал в российской медицине, не отличался ни яркостью преподавания, ни блестящей профессурой. Преподавание велось сухо, по раз и навсегда установленным канонам. Перечислялись симптомы болезней и способы их лечения без вскрытия причин заболевания. О лекарствах рассказывалось без указания их действия на организм. В клинике внутренних болезней студенты наблюдали больных, писали по-латыни истории болезней. Однако этими записями никто не интересовался. Парадоксальным можно считать отношение преподавателей к перкуссии и аускультации (выстукиванию и выслушиванию), которые считались чуть ли не шарлатанством. И это имело место через 30 лет после изобретения стетоскопа. Термометр и микроскоп на медицинском факультете находили весьма ограниченное применение. В то же время огромное внимание уделялось шагистике, соблюдению целого ряда формальностей, таких как правила отдания чести, ношения треуголки, шпаги и т.д. Николай I, напуганный ростом революционного движения в Европе (1848—1849), лишил университеты права избрания ректоров, ввёл строгие ограничения в приёме, жёстко регламентировал

поведение студентов и профессоров. После трёх лет учёбы Сеченов понял, "что не призван быть медиком, и стал мечтать о физиологии" [2, с. 28].

Осенью 1850 г. в Московский университет поступил будущий великий терапевт Сергей Петрович Боткин, поддерживавший с Сеченовым дружеские отношения в течение всей последующей жизни. В одном из своих частных писем Боткин охарактеризовал гнетущую атмосферу медицинского факультета того времени таким образом: "Будущность наша уничтожалась нашей школой, которая преподавая нам знание в форме катехизисных истин, не возбуждала в нас той пылкости, которая обуславливает дальнейшее развитие" [4, с. 13]. Но всё-таки Сеченов и Боткин обязаны Московскому университету главным — приобщением к науке и стремлением глубже её познать с целью внесения чего-то своего, нового.

Прослушав на 1 курсе лекции по анатомии и зоологии, на 2 курсе И.М. Сеченов увлёкся лекциями И.Т. Глебова по сравнительной анатомии и физиологии. Глебов обладал прекрасным ораторским даром и умел заинтересовать студентов. Однако физиологию он читал по старинке, без учёта новых данных, полученных в лабораториях И. Мюллера, Г. Гельмгольца, Э. Вебера — пионеров физико-химического подхода к анализу физиологических функций.

На 3 курсе знакомство с лекциями Н.С. Топорова (частная патология и терапия) и Н.Б. Анке (фармакология) отвратило Сеченова от мечтаний выбрать поприще практического врача. Не вдохновил Ивана Михайловича и курс хирургии В.А. Басова, который впервые провёл операцию по выведению фистулы желудка у собаки. Моло-

дого человека отталкивал "голый эмпиризм" этих лекций, отсутствие анализа и каких бы то ни было демонстраций. Впрочем, проштудировав лекции 3 курса по учебникам, он успешно сдал экзамены, а свободное время посвятил изучению гуманитарных наук, посещал лекции профессора П.Н. Кудрявцева (история реформации) и известного историка-западника Т.Н. Грановского (всеобщая история). Оба профессора пробудили у Сеченова интерес к психологии.

С 4 курса начались занятия в университетских клиниках. И.М. Сеченов проводил положенные работы в терапевтическом и акушерском отделениях. Особый интерес проявил к хирургической клинике Ф.И. Иноземцева — талантливого, горячего и увлекающегося профессора, отличительной чертой которого был его физиологический подход к происхождению болезней, их связи с состоянием нервной системы. Можно сказать, что Иноземцев подсказывал своим ученикам идею будущей теории нервизма. Очевидно, в его клинике Сеченов сформировался как будущий физиолог.

Лекции по анатомии читались на латинском языке, что побудило Сеченова срочно восполнить этот пробел в своих знаниях. Он брал уроки у слушателя филологического факультета Дмитрия Визара. Их отношения из официальных переросли в дружеские, и по выходным дням Сеченов посещал большую семью Визаров, где собирался кружок московских интеллектуалов. Частым гостем там был поэт Аполлон Григорьев, преданный почитатель А.Н. Островского. Частенько по выходным устраивались чтения пьес Островского, ставились домашние спектакли. Здесь Иван Михайлович познакомился с известным актёром П.М. Садовским, встретился со многими другими представителями московской интеллигенции. Такое общение делало жизнь студента интересной, познавательной и, как ему самому казалось, "переполненной до краёв".

В 1853 г. началась Крымская война. Московский университет получил высочайшее предписание выпустить врачами студентов 4 и 5 курсов. Студенты, учившиеся за казённый счёт, после сдачи экзаменов направлялись на фронт. В их числе оказался и С.П. Боткин. Вольноопределяющиеся (своекоштные) же студенты получили возможность закончить университет. В данном случае судьба сжалась над Сеченовым. Весной 1856 г. он окончил университет и был утверждён в степени лекаря с отличием, а также предоставлением права после защиты диссертации получить степень доктора медицины.

Осенью 1856 г. Сеченов уезжает за границу для работы в лабораториях европейских учёных. Он осуществил эту поездку на деньги, которые достались ему по наследству после кончины ма-

тери (6 тыс. руб.). Первым городом стал Берлин, где жил и творил Иоганес Мюллер — основатель школы выдающихся немецких физиологов, таких как Карл Людвиг, Рудольф Вирхов, Герман Гельмгольц, Эмиль Дюбуа-Реймон. Иван Михайлович внёс деньги в канцелярию Берлинского университета и, получив соответствующие карточки на право слушания лекций, стал их регулярно посещать [4, 5].

Сравнительную анатомию на 1 курсе читал сам Мюллер. Сеченов был несколько разочарован лекциями "короля физиологии", который потихоньку угасал и читал лекции тихим голосом с оттенком безразличия. Другое дело — Э. Дюбуа-Реймон, директор Института физиологии Берлинского университета. На его лекциях Сеченов и находившийся в Берлине Боткин постигали основы электрофизиологии нервов и мышц, узнавали о новых открытиях в области физиологии и химии. С позволения Дюбуа-Реймона Сеченов провёл в лаборатории несколько опытов на мышцах и нервах лягушки, спинном мозге угря, используя струнный гальванометр. Не ограничившись данными курсами, Иван Михайлович прослушал лекции Г.Г. Магнуса по экспериментальной физике, Г. Розе по аналитической химии и Э.Ф.И. Гоппе-Зейлера по гистологии. Кроме того, в частной химической лаборатории Ф.Л. Зонненштейна он освоил методы качественного и количественного анализа [2, 5].

Летом 1857 г. И.М. Сеченов окончательно определил тему предстоящей диссертации: "Материалы к будущей физиологии алкогольного опьянения". Основные факты для работы были получены в лаборатории медицинской химии Гоппе-Зейлера, входившей в состав Патологического института Вирхова. Сеченов установил влияние алкоголя на температуру тела (в артериях, венах и прямой кишке), измерил количество выдыхаемого пьяным животным  $\text{CO}_2$ , произвёл анализ желчи, секретируемой под воздействием алкоголя. Исследования газов крови он впоследствии продолжал всю жизнь. Таким образом, диссертационная тема позволила Сеченову освоить самые разнообразные методы и модифицировать их применительно к своим целям. Существовал и определённый этический аспект в теме диссертации — ему хорошо была известна печальная и губительная роль водки в безрадостной жизни русского народа.

Осенью 1857 г. Иван Михайлович продолжил исследования в Лейпциге на кафедре, возглавляемой знаменитым анатомом Э.Г. Вебером. Здесь он продемонстрировал влияние алкоголя на азотистый обмен, а также на нервы и мышцы лягушек. Весной 1858 г. работа продолжилась в Вене в физиологической лаборатории Карла Людвига,





Медико-хирургическая академия (ныне — Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова) в середине XIX в.

где он установил воздействие алкоголя на кровообращение и поглощение кислорода кровью. На этом этапе исследований Сеченов сконструировал первый абсорбциометр, отличавшийся простотой и точностью. Он произвёл очень благоприятное впечатление на Людвиг, который распорядился изготовить себе идентичный аппарат. К концу 1858 г. основной фактологический материал для диссертации был собран.

В 1859 г. Сеченов отправился в Гейдельберг, где провёл серию опытов в лабораториях физиолога Г. Гельмгольца и химика Р. Бунзена. Кроме того, в Гейдельберге И.М. Сеченов близко сошёлся с Д.И. Менделеевым, занимавшимся изучением капиллярных явлений. Гельмголец заинтересовал Сеченова своей таинственностью и недоступностью. Под его руководством Иван Михайлович открыл голубую флуоресценцию хрусталика при возбуждении ультрафиолетовыми лучами. Материалы, полученные в зарубежной поездке, были опубликованы в виде нескольких научных статей в иностранной и русской печати. Сеченов завершил написание диссертации и отправил её на рассмотрение конференции Санкт-Петербургской медико-хирургической академии, где предполагалась защита.

1 февраля 1860 г. Сеченов на почтовой карете через Ригу прибыл в Петербург. На следующее утро, переправившись на лодке через Неву, с Литейной части на Выборгскую сторону, явился к своему старому учителю профессору Глебову. Тот читал ранее анатомию и физиологию в Московском университете. Глебов в это время занимал должность вице-президента Медико-хирургической академии и по поручению президента руко-

водил омоложением преподавательского состава. Глебов благожелательно отнёсся к своему бывшему ученику как представителю нового физико-химического направления в физиологии. По словам самого Сеченова, его приняли так, будто академия без него не смогла бы дальше существовать [2]. Текст диссертации был тут же опубликован в "Военно-медицинском журнале", а 5 марта 1860 г. состоялась её успешная защита на конференции (учёном совете) Медико-хирургической академии. Сеченов был признан доктором медицины и допущен к испытаниям на звание адъюнкт-профессора. В апреле его зачислили адъюнкт-профессором физиологии при ординарном профессоре А.П. Загорском. Тогда же он приступил к чтению лекций. Его курс "О животном электричестве" стал совершенной новостью для России того времени и произвёл огромное впечатление. Подкупала манера изложения, великолепные демонстрации, открытие перспектив дальнейших исследований. К концу семестра Сеченов стал любимым лектором слушателей Медико-хирургической академии. Через некоторое время его курс был удостоен Демидовской премии Академии наук. Год спустя, в марте 1861 г., академическая конференция единогласно избрала И.М. Сеченова экстраординарным профессором [3].

Благожелательное отношение руководства академии к Сеченову проявилось в выделении денежных средств на организацию и техническое оснащение физиологической лаборатории. Это был поистине звёздный час Ивана Михайловича. Маленькая лаборатория в деревянном доме на Пироговской набережной стала, образно говоря, магнитом, который притягивал не только



слушателей академии, но и докторантов врачей, профессоров, в том числе С.П. Боткина. Научное имущество лаборатории состояло из гальванометра, индукционной катушки и манометра для определения кровяного давления. Однако и этого минимума хватало для разработки начал нервно-мышечной физиологии. Здесь сформировалась группа учеников Сеченова, в ряды которых вошли П.А. Спиро, В.В. Пашутин, Ф.Ю. Маткевич, К.В. Ворошилов, И.Р. Тарханов, М.П. Литвинов [3]. Посещал лабораторию и Венцеслав Леопольдович Грубер — профессор кафедры описательной анатомии, являвшийся в прошлом протеже Н.И. Пирогова. Грубер славился своей безудержной, доходившей до фанатизма любовью к анатомии и необыкновенной работоспособностью. Видимо, неслучайно И.П. Павлов в период обучения в академии дважды сдавал ему экзамен по анатомии. Однако Грубер отличался добрым характером и первым в России открыл доступ в секционные, анатомические залы женщинам. Поэтому он и обратился к Ивану Михайловичу с просьбой поддержать его начинание и разрешить посещение физиологической лаборатории М.А. Боковой и Н.П. Сусловой. "Герр Сеченов" ничего не имел против. И вот, в один из серых сентябрьских дней 1861 г. на пороге его лаборатории появились две молоденькие девушки, ожидавшие приглашения войти. Сеченов увидел только одну, вторая как-то расплывалась перед его взором. Эта одна — Мария Александровна Бокова (в девичестве М.А. Обручева) — стала источником страшной болезни, называемой любовью, любовью с первого взгляда и до гробовой доски. Старший брат Марии Александровны входил в круг общения Н.Г. Чернышевского и, по всей вероятности, подсказал ему сюжет романа "Что делать?" Уже в те времена бытовала точка зрения, что Сеченов — прототип образа Кирсанова, а с Боковой рисовался образ Веры Павловны. Впрочем, сам Иван Михайлович категорически отрицал свою причастность к фабуле романа, страшась "запачкать" имя любимой женщины [3, 4].

В июне 1860 г. И.М. Сеченову предложили баллотироваться в адъюнкты Академии наук. Процедура избрания затянулась, и Иван Михайлович, отличавшийся независимым характером, снял свою кандидатуру, не желая быть подставной фигурой. Возможно, в данной ситуации имел место и личный мотив, заключавшийся в недостатке материальных средств. Учёный хотел восполнить этот недостаток частной медицинской практикой, как следует из его письма в Академию наук [4, 5]. Побудило к такому поступку бедственное материальное положение Боковой, у которой был арестован старший брат и ожидал ареста муж, состоявший с ней в фиктивном браке. В Академии



Мария Александровна Бокова

наук письмо Сеченова вызвало негативную реакцию, что впоследствии отразилось при повторном представлении его кандидатуры на замещение должности ординарного академика.

Прямолинейный и демократичный характер И.М. Сеченова проявился и в январе 1862 г., когда он принял участие в чтении публичных лекций для студентов, исключённых из Санкт-Петербургского университета по приказу правительства. В марте публичные лекции были запрещены, а профессора, опекавшие бунтующих студентов, попали в разряд неблагонадёжных. Позиция правоохранительных органов и личные мотивы, связанные с проблемами "любовного треугольника", вынудили Сеченова подать прошение президенту Санкт-Петербургской медико-хирургической академии о командировке на год за границу с целью ознакомления с новейшими открытиями по его предмету. Конференция академии и её президент откликнулись на прошение положительно, и весной 1862 г. Иван Михайлович уехал в Париж в лабораторию прославленного Клода Бернара [3, 5]. Здесь, в маленькой лаборатории Коллеж де Франс, Сеченов открывает феномен центрального торможения при раздражении центров среднего мозга. Это открытие во многом предопределило дальнейшее развитие мировой физиологической науки. Уже во второй половине минувшего столетия один из основоположников учения о функциях ретикулярной формации Г. Мэгун с восхищением признавал исторический приоритет Сеченова. Иван Михайлович тут же опубликовал результаты своих исследований в журнале "Медицинский вестник" от 5 января 1863 г.: статья называлась "Исследование центров, задерживающих отражённые движения в мозгу лягушки" [3].

Из Парижа И. М. Сеченов поехал к Карлу Людвигу в Вену, где продемонстрировал свои новые эксперименты. Потом он поделился своими успехами с Дюбуа-Реймоном. Популярность русского учёного за рубежом росла, и вскоре феномен "сеченовского торможения" был включён во все европейские учебники физиологии.

В мае 1863 г. Иван Михайлович возвратился в Санкт-Петербург. Этот год стал весьма плодотворным в его творческой биографии. Осенью 1863 г. в "Медицинском вестнике" была напечатана статья "Рефлексы головного мозга" [6, 7]. Публикации предшествовала длительная борьба с цензурой, которая считала, что содержание работы ведёт "к отрицанию нравственных основ общества, к потрясению догмата о бессмертии души и вообще религиозных начал" [4, с. 98]. Первоначальное название статьи "Попытка ввести физиологические основы в психические процессы" было изменено на сугубо физиологическое — "Рефлексы головного мозга". Её публикация на страницах журнала "Современник" (под редакцией Н. А. Некрасова) запрещалась царскими цензорами. Только в 1867 г. рукопись была напечатана отдельным изданием. Причина столь сильного потрясения умов состояла в том, что Сеченов видел основу всех без исключения проявлений психической жизни человека в рефлекторной деятельности головного мозга, источником которой служат впечатления, полученные из окружающей среды [3, 7–17]. Сеченов отбросил философские теории о душе и напрямую взялся за изучение материального субстрата психических явлений. Замечательная книга стала фундаментом учения о высшей нервной деятельности, созданного первым российским лауреатом Нобелевской премии и первым лауреатом Нобелевской премии в номинации "Физиология или медицина" И. П. Павловым и его физиологической школой.

В апреле 1864 г. И. М. Сеченов — учёный уже с мировым именем — был утверждён в звании ординарного профессора Медико-хирургической академии. В 1867–1868 гг., находясь в Австрии, он провёл комплекс экспериментов в лаборатории А. Роллета. Полученный им фактический материал позволил открыть явление суммации и следовые процессы в нервных центрах. Самыми непроизводительными в жизни великого учёного стали 1868–1869 гг. — так отмечает сам Иван Михайлович в своих "Автобиографических записках" [2]. Он приостановил изучение центральной нервной системы и вернулся к учению о газах крови. 5 мая 1868 г. Сеченова провалили на выборах в адъюнкты Академии наук. В это же время пост президента Медико-хирургической академии занял Н. И. Козлов, который действовал по принципу "разделяй и властвуй" и стал-

кивал учёных по возрастным, национальным и прочим признакам [3].

Козлов начал кампанию по "выдавливанию" Ивана Михайловича из Медико-хирургической академии. Последней каплей, переполнившей чашу терпения Сеченова, стала ситуация с выдвижением на пост заведующего кафедрой зоологии И. И. Мечникова (будущего второго лауреата Нобелевской премии из России), с которым его связывали дружеские отношения со времени их совместного пребывания в зарубежных поездках. Кандидатуру Мечникова выдвигали Сеченов и химик Н. Н. Зинин (наставник и учитель великого Альфреда Нобеля). Другая группа профессоров предложила кандидатуру сына академика Ф. Ф. Брандта — прозектора академии А. Ф. Брандта, научный потенциал которого не шёл ни в какое сравнение с таковым у Мечникова. Исход голосования конференции академией сложился не в пользу Мечникова: 12 за и 13 против. Эта вопиющая несправедливость потрясла Сеченова. Кроме того, конференция поддержала баллотировку Ф. Н. Заварыкина — ученика И. М. Сеченова, слывшего лентяем и прожигателем жизни. В итоге в сентябре 1870 г. Иван Михайлович подал в конференцию Медико-хирургической академии прошение об увольнении.

После положенного количества визитов профессоров с просьбой не покидать академию конференция 28 ноября 1870 г. постановила ходатайствовать об удовлетворении просьбы Сеченова. На своё место он рекомендовал профессора Петербургского университета И. Ф. Циона — ученика Карла Людвигу, который лестно отзывался о талантах молодого профессора. Это послужило достаточным основанием и для рекомендации Сеченова [4, 7]. Однако виднейшие профессора академии, в том числе Грубер и Зинин, дали Циону резко отрицательную характеристику. Они писали, что ему "абсолютно невозможно поручать руководство юношеством" [4, с. 119]. Конференция большинством голосов забаллотировала Циона. Илья Фаддеевич, обладавший боевым характером, пожаловался военномедицинскому инспектору Н. И. Козлову, и тот представил военному министру Д. А. Милютину доклад о необходимости назначения Циона. Вопреки решению конференции Цион приказом был всё-таки назначен на должность заведующего кафедрой физиологии. Несколько лет спустя Сеченов, узнав о скандальном уходе Циона из Медико-хирургической академии, смущённо разводил руками и говорил, что не только талант определяет лицо настоящего учёного.

Сам Иван Михайлович ещё до увольнения был нацелен на переход в Новороссийский университет в Одессе, обязанный своим существованием

Н.И. Пирогову. В 1857 г. великий хирург, будучи попечителем Одесского учебного округа, преобразовал Ришельевский лицей в Новороссийский университет. Здесь на кафедре зоологии в 1870 г. работал выдающийся русский биолог И.И. Мечников, собственно, и подсказавший Сеченову идею перехода.

В 1869 г. И.М. Сеченов был избран членом-корреспондентом Академии наук. Однако и теперь надежды Ивана Михайловича на создание академической лаборатории не оправдались из-за отсутствия достаточного финансирования. Таким образом, мало что удерживало Сеченова в Петербурге. В августе 1870 г. Совет Новороссийского университета избрал Ивана Михайловича ординарным профессором зоологии и представил его кандидатуру на утверждение попечителю Одесского учебного округа. Утверждение растянулось почти на год из-за происков министра просвещения графа Д.А. Толстого, считавшего Ивана Михайловича "отъявленным материалистом", способным негативно повлиять на "нравственное развитие юношества" [5].

В период вынужденной безработицы И.М. Сеченов зарабатывал на жизнь публичными лекциями и статьями. Он обратился к своему старому другу Д.И. Менделееву с просьбой разрешить некоторое время поработать в его лаборатории. Двери менделеевской лаборатории при Петербургском университете гостеприимно открылись. Здесь Иван Михайлович занялся синтезом азотистометилового эфира. Эпопея утверждения Сеченова в должности ординарного профессора Новороссийского университета завершилась положительно только в апреле 1871 г. В университете он оборудовал лабораторию, где продолжил давние исследования механизмов переноса кровью углекислого газа. Им была открыта новая форма транспорта углекислоты с участием гемоглобина, проводились исследования поглощения углекислого газа растворами солей, кислот и щелочей. Учёный впервые расположил катионы и анионы в рядах по степени их влияния на растворимость газа. Эти работы были позже продолжены в стенах кафедры физиологии Петербургского университета [4].

Второе направление исследований Сеченова в Одессе касалось особенностей сердечной деятельности пресмыкающихся. Кроме того, к одесскому периоду относится его заочная полемика с психологом-идеалистом К.Д. Кавелиным. В 1873 г. в "Вестнике Европы" были опубликованы две статьи Сеченова: «Замечания на книгу г. Кавелина "Задачи психологии"» и "Кому и как разрабатывать психологию", в которых излагался материалистический подход к анализу человеческой психики [5].

К 1871 г. в Новороссийском университете собрались такие видные учёные, как зоолог И.И. Мечников, физик Н.А. Умов, ботаник Л.С. Ценковский, искусствовед Н.П. Кондаков. В начале 1874 г. к одесскому кружку примкнул известный биолог-эволюционист А.О. Ковалевский. Сеченов был активным участником частных заседаний этого кружка. Особенно близок Ивану Михайловичу был Мечников, которого Сеченов негласно называл "мамашей". Они жили по-холостяцки, пока жена Мечникова лечилась за границей, а М.А. Бокова специализировалась в венской клинике глазных болезней. Илья Ильич весь запас своей любви и заботы изливал на Ивана Михайловича, за что, собственно, и получил своё умильное прозвище. Однако по истечении пяти лет пребывания в Новороссийском университете Сеченов понял, что новая работа не соответствует его уровню. Количество студентов естественного отделения физико-математического факультета не превышало 10 человек. За пять лет из его лаборатории не вышло ни одной докторской диссертации [4].

В январе 1873 г. И.М. Сеченова снова провалили на выборах в Академии наук. Он затосковал и стал мечтать о возвращении в Петербург. В марте 1875 г. Иван Михайлович пишет Менделееву: "...Ради Бога перетащите меня в ваш университет, чтобы я мог работать подле вас, петербургских химиков. При вашей помощи я бы стал работать теперь по физиологической химии, вероятно, не без успеха, потому что у меня в руках уже множество капитальных вопросов. Здесь же всякая штука достаётся мне с большим трудом. Если бы паче чаяния меня захотели вернуть в Медицинскую Академию, то имейте в виду, что туда я пошёл бы лишь по необходимости, а к вам с радостью. Да и по характеру образования я годнее для естественного факультета, чем для медицинского..." [4; 5, с. 290].

Ректор Санкт-Петербургского университета П.Г. Редкин, а также заведующий кафедрой анатомии человека и физиологии животных академик Ф.В. Овсянников, открывший в продолговатом мозгу существование сосудодвигательного центра, отнеслись благожелательно к пожеланиям Сеченова, и в апреле 1876 г. он возвратился в столицу в качестве сверхштатного ординарного профессора, в эту пору Ивану Михайловичу исполнилось 47 лет [6, 9, 11–15]. В Новороссийском университете он получил титул действительного статского советника. Впрочем, официальная табель о рангах не шла ни в какое сравнение с научным потенциалом маститого учёного с мировым именем.

Заметим, что меньше чем за четверть века (1827–1849) в России родилось пять буду-





Санкт-Петербургский Императорский университет XIX в.

щих великих учёных, доказавших, что русская биология не исчерпывается лишь описательной работой и имитацией западноевропейских образцов: физиологи Ф. В. Овсянников (1827–1906) и И. М. Сеченов (1829–1905), эмбриолог А. О. Ковалевский (1840–1901), биолог И. И. Мечников (1845–1916), физиолог И. П. Павлов (1849–1936). Трое из них имели самое непосредственное отношение к кафедре анатомии человека и физиологии животных (ныне кафедра общей физиологии) Санкт-Петербургского университета. Несмотря на то, что биографии этих учёных во многом различались, в них можно найти и общие черты. Четверо родились в провинции, но все окончили жизнь в столицах (Москва, Санкт-Петербург, Париж), происходили из семей приличного достатка, которые могли позволить себе домашнее образование детей. Пятый же (Павлов) был сыном священника, однако его интерес к учёбе активно поощрялся родителями. Все учились или стажировались в западноевропейских университетах, приобрели всемирную известность, а двое удостоились Нобелевской премии (Павлов и Мечников). Наконец, каждый из них, хотя и в разной степени, столкнулся с трудностями политического характера, так что в цветущем творческом возрасте один из них вынужден был покинуть Россию (Мечников), другой (Павлов) активно к этому стремился [9].

Сразу же после прихода в Санкт-Петербургский университет Сеченов стал читать специальный курс физиологии (по четыре лекции в неделю) для студентов 3 и 4 курсов с практическими занятиями [4, 10]. Хранителем физиологического кабинета стал А. М. Фортунатов. Ещё до прихода Сеченова в университет Овсянников хлопотал о выделении дополнительных средств для обеспечения работ Ивана Михайловича по химическому отделу физиологии, в частности, знаменитых абсорбциометрических исследований газов крови. Использование им методов физической

химии, математического анализа положило начало своеобразному складу физиологического экспериментирования, развившемуся далее в университетской физиологической школе. В это же время намечается методологическое объединение физиологии человека и животных с физиологией растений.

Иван Михайлович начинает привлекать к научной работе наиболее одарённых студентов. В 1878 г. в лаборатории появляются ассистенты В. П. Михайлов и Н. Е. Введенский. Последний находился под негласным надзором полиции за "хождение в народ" и привлечение к "процессу 193-х" [9].

В стенах Петербургского университета Сеченов разрабатывал в основном два научных направления: физико-химическое изучение механизмов газового обмена через посредство жидких сред организма и нейрофизиологическое, связанное с прежними работами по центральной иннервации, нервному торможению, значению рефлексов головного мозга в поведении животного и человека [9, 11]. Опыты с использованием абсорбциометра Иван Михайлович проводил в одиночку. Ему удалось показать, что присутствие в крови углекислых и фосфорнокислых солей увеличивает её способность поглощать  $\text{CO}_2$  (буферные системы) и отдавать поглощённый углекислый газ при простом откачивании в вакуум. Учёный вплотную подошёл к формулировке общей закономерности поведения растворённых солей относительно поглощаемого газа [6]. Однако химики выражали определённый скепсис и требовали подтверждения данной закономерности в опытах не только с  $\text{CO}_2$ , но и с другими газами — кислородом и азотом. К сожалению, условия для этих опытов у Сеченова отсутствовали. Только в начале 1891 г., находясь уже в Московском университете, он сравнил открытый им закон растворения  $\text{CO}_2$  в жидкостях с уже известными законами растворения одной соли в растворе другой и убедился в тождественности этих закономерностей. Теперь Иван Михайлович с полным правом сформулиро-

вал закон растворимости газов в растворах в зависимости от концентрации находящихся в них солей, который вошёл в историю науки как "правило Сеченова" [9].

В 1879 г. И. М. Сеченов на время приостановил своё "качание  $\text{CO}_2$ " и принялся за расчёты параметров лёгочного газообмена. Стимулом послужила трагедия, произошедшая с тремя французскими воздухоплавателями — Г. Тиссандье, Дж. Кроге-Спинелли и Т. Сивелем, совершавшими полёт на аэростате "Зенит" на высоте 8600 м. В условиях резко пониженного атмосферного давления Кроге-Спинелли и Сивель погибли, а Тиссандье был обнаружен в кабине в состоянии глубокого обморока. Расчёты Ивана Михайловича показали, что с подъёмом на высоту при дыхании разреженным воздухом количество кислорода, попадающего в лёгочные альвеолы, быстро снижается. В конце концов наступает момент, когда парциальное давление кислорода в альвеолах становится равным или меньше такового в артериях. Наступает кислородное голодание, ведущее к утрате сознания и гибели человека. Результаты проведённого анализа Сеченов изложил в статье, опубликованной в самом авторитетном физиологическом журнале того времени — "Пфлюгеровском архиве" [4, 5, 9]. Работа имела прямое отношение и к предыдущим исследованиям Ивана Михайловича по газам крови. В перспективе она стимулировала изыскания в области авиационной и космической физиологии по установлению оптимальных параметров газового состава и давления в кабинах летательных аппаратов.

Как известно, открытию центрального торможения и созданию учения о нём предшествовало обнаружение братьями Веберами, а затем Пфлюгером следующего явления: раздражение нерва способно привести орган не только в деятельное состояние, но и вызвать прямо противоположный эффект — задержку или прекращение двигательной реакции. Естественно, возник вопрос: а где же субстрат этой способности? Поиски завершились открытием искомых центров. "Предположение о тормозящем влиянии одной части нервной системы на другую, — писал Ч. Шеррингтон, — высказывал ещё Гиппократ, но как рабочий физиологический тезис оно стало общепринятой доктриной только после Сеченова, в 1863 г." [8]. Открытие послужило главной опорой для схемы "мозговой машины", описанной в сеченовских "Рефлексах головного мозга". Именно эта гипотетическая схема легла в основу программы, сплотившей в научную школу всех, кто работал с Иваном Михайловичем.

Итоговой работой И. М. Сеченова по проблеме торможения стала книга "Об электрическом и химическом раздражении чувствующих спин-

номозговых нервов лягушки" (1868) [2]. Программа изучения нейрофизиологических механизмов была исчерпана, а новой у Ивана Михайловича не было. Его школа распалась. Исследовательская программа, которой он следовал на протяжении последующих более чем 20 лет, выполнялась единолично, без сотрудников и учеников. В Петербургском университете его единственным помощником был служитель Осип Кухаренко.

В конце 1879 г. Сеченов вновь обратился к своей излюбленной теме — физиологии центральной нервной системы. Исследования электрических явлений в спинном и продолговатом мозге лягушки позволили ему открыть феномен ритмических колебаний потенциала в зависимости от импульсов, приходящих от рецепторов в центральную нервную систему. Опыты проводились не только на целых препаратах (*in situ*), но и на изолированных участках мозга, помещённых во влажную камеру. В этих экспериментах впервые в истории физиологии была обнаружена спонтанная электрическая активность мозга.

К петербургскому периоду деятельности И. М. Сеченова относится издание его известной книги "Элементы мысли" [18]. Она была впервые опубликована в 1878 г. в журнале "Вестник Европы". Основной предмет книги заключался в анализе развития индивидуального мышления человека с его переходами от конкретного к абстрактному, от общего к частному, из мира чувственных факторов в область символизации впечатлений. Взяв за основу своего анализа учение знаменитого английского мыслителя Г. Спенсера, Сеченов продемонстрировал параллелизм эволюционного развития структуры, функции и психической деятельности организма. Это смелое по тем временам использование дарвинизма в области психофизиологии послужило в дальнейшем стимулом для развития эволюционных подходов в физиологических исследованиях. Позднее Павлов убедительно доказал наличие корреляции между степенью сложности условного рефлекса и уровнем филогенетического развития центральной нервной системы экспериментальных животных.

Научное творчество Ивана Михайловича Сеченова столь широко и разнообразно, что некоторые исследователи даже становятся в тупик, пытаясь конкретно определить его основную направленность. В самом деле, он был первым, кому удалось извлечь и проанализировать растворённые в крови газы, сформулировать закон растворимости газов в растворах в зависимости от концентрации в них солей. Он открыл химическое соединение гемоглобина с углекислотой — карбгемоглобин — и объяснил дыхательную функцию крови, сконструировал респирационный аппарат и аппарат для быстрого и точного анализа состава



лёгочного воздуха. Ему удалось обнаружить ритмические колебания электрических потенциалов в продолговатом мозге и явление суммации в центральной нервной системе.

Наибольшую славу отечественной науке принесло открытие И. М. Сеченовым торможения в центральной нервной системе. Опубликованное им в 1863 г. гениальное произведение "Рефлексы головного мозга" распространило принцип рефлекторной реакции на психическую деятельность и поведение человека. Фундаментальность этого учения о чувственном познании подтвердилась более чем вековым ходом развития физиологии, биофизики, молекулярной биологии. Положения Ивана Михайловича о наличии, например, знаковой формы чувственного познания поддерживаются следующими сведениями современной науки:

- кибернетическим законом кодирования информации, согласно которому элементами кода любой информации являются знаки и позиции; последние представляют собой размещение знаков в пространстве и во времени;

- психофизиологическим законом специфических свойств сенсорных систем, который констатирует, что модальность (качества) ощущений определяется только биологической организацией сенсорных систем и, следовательно, является системой идеальных естественных знаков, заменяющих в сознании модальность, то есть физическую природу раздражителей;

- биофизическим законом возбуждения клеток, по которому любые раздражители, способные возбудить органы чувств, вызывают в них однотипный по природе процесс возбуждения;

- эмпирическими данными о кодировании информации в сенсорных системах, которые показывают, что между физической природой отражаемых объективных реальностей и соответствующими модальностями ощущений нет гносеологического сходства [14, 15].

Как отмечал Овсянников, помимо научных достижений, Сеченов обладал счастливым даром — научные истины делать доступными большой публике [9].

Говоря об Иване Михайловиче, нельзя обойти вниманием его ближайших учеников. Весной 1879 г. Н. Е. Введенский окончил университет и при поддержке Сеченова и ректора А. М. Бекетова на накопленные за счёт репетиторства средства выехал за границу. В лаборатории Э. Дюбуа-Реймона он впервые использовал телефон для прослушивания рокотов и тонов нерва при возбуждении. Результаты, полученные Введенским, были изложены в его магистерской диссертации "Телефонические исследования над электрическими явлениями в мышечных и нервных аппаратах", успешно защищённой в 1884 г. [9]. Сеченов вы-

соко оценил успехи своего талантливого ученика и предложил ему тему докторской диссертации "О соотношении между раздражением и возбуждением при тетанусе". Введенский защитил её через два года, кроме того, она была удостоена золотой медали Академии наук.

Другой ученик И. М. Сеченова — В. П. Михайлов, работы которого носили биохимическую направленность, в 1886 г. совместно с Г. В. Хлопиным (будущий известный профессор-гигиенист) опубликовал работу "О студенистом состоянии белкового вещества". В 1882 г. в лаборатории Сеченова появился ещё один талантливый работник — студент Б. Ф. Веригу. Уже в то время он заложил основы учения о катодической депрессии — длительном понижении возбудимости в области приложения катода сильного постоянного тока. Среди новых студентов-работников выделяется Н. П. Кравков — будущий известный профессор-фармаколог Военно-медицинской академии [3, 9].

Преподавательская деятельность Сеченова не ограничивалась стенами университетской кафедры. С 1878 г. он принимал активное участие в чтении лекций на Бестужевских курсах. Они назывались по имени их учредителя — профессора К. Н. Бестужева — и являлись первым высшим женским учебным заведением России, дававшим право окончившим их преподавать в гимназиях и школах. Иван Михайлович приравнивал эти курсы к университетскому образованию и писал следующее: "...Доказательством служит системность четырёхлетнего курса, читавшегося профессорами, доцентами и даже академиками. Я читал на курсах то же самое и в таком же объёме, что в университете. Да, это была заря высшего образования в России" [4, с. 138].

В 1884 г. в Петербургском университете ввели новый устав, согласно которому самостоятельная до этого кафедра физиологии должна была войти в состав кафедры зоологии, сравнительной анатомии и физиологии. Физиологический кабинет при этом не закрыли, но хорошо налаженная работа физиологов была нарушена. Устав требовал, чтобы практические занятия по физиологии стали обязательными для всех студентов физико-математического факультета, число которых вчетверо превысило число мест в лаборатории.

В 1885 г. Сеченов и Овсянников были отчислены из штатного состава за выслугой лет, но оставлены при университете сверх штата. Сеченов стал читать курс лекций "Мышцы и нервы" — 5 часов в неделю. В 1886 г. он потребовал расширения помещений и увеличения финансирования лаборатории, однако решение вопроса затянулось [9].

В 1885 г. учёный совет университета представил министру народного просвещения И. Д. Делянову ходатайство о присвоении Ивану Михайловичу



звания заслуженного профессора с включением в его 25-летний стаж педагогической работы 10-летнего пребывания в Медико-хирургической академии. Делянов ответил отказом. Отрицательный результат дали и два повторных представления, последнее из которых датируется ноябрём 1887 г. Свои отказы министр мотивировал необходимостью наличия высочайших указаний и согласия министра финансов. В том же году кандидатура Сеченова была в очередной раз провалена на выборах в Академию наук. Таково было отношение царских сановников к "отцу российской физиологии", вызывавшему у власть предержащих аллергическую реакцию [4, 5]. Неслучайно к этому времени у Ивана Михайловича начало копиться недовольство петербургскими условиями научной деятельности. Он писал в "Автобиографических записках" [2], что пребывание в Петербургском университете стало казаться ему бесцельным, так как в сложившихся условиях не было возможности завершить работу с  $\text{CO}_2$  и показать, что речь идёт об общем законе, применимом ко всем газам.

Одной из причин недовольства Сеченова стали и некоторые идейные расхождения с Н.Е. Введенским, касавшиеся вопроса о утомляемости нерва. Иван Михайлович считал, что деятельность нерва сопровождается тратами "взрывчатого" вещества и, очевидно, необходимо время для восстановления этого вещества, израсходованного при возбуждении. Вторая проблема касалась унитарной трактовки природы торможения, которое, по Введенскому, не нуждалось в специальном морфологическом субстрате и развивалось из процесса возбуждения. Оригинальные взгляды Введенского не были приняты Сеченовым, хотя до открытой полемики у них дело не дошло. Николай Евгеньевич впервые упомянул об этих разногласиях в некрологе о И.М. Сеченове: "...Направление моих научных работ заставило меня разойтись со своим незабвенным учителем в некоторых дорогах для меня вопросах" [4, с. 329].

Определённую роль в переходе Сеченова в Московский университет сыграли и личные мотивы. В феврале 1888 г. он, наконец, обвенчался с Боковой, состоявшей с ним долгое время в гражданском браке. Венчание проходило в Благовещенской церкви на 8-й линии Васильевского острова рядом с нынешним издательством СПбГУ. Небольшое имение Марии Александровны, куда теперь уже законные муж и жена собирались переехать после свадьбы, находилось в Тверской губернии в непосредственной близости от Москвы. Не исключено, что территориальные мотивы также повлияли на решение Сеченова уйти из Петербургского университета.

1 декабря 1888 г. Иван Михайлович подал прошение об увольнении. В Москве он устроился так, чтобы никому не мешать, ни с кем не конкурировать и заниматься любимой исследовательской работой. Он стал приват-доцентом Московского университета и параллельно читал публичные лекции в Московском клубе врачей. Эти лекции стали основой книги "Физиология нервных центров", изданной в 1891 г. [17].

Ректор Московского университета орнитолог профессор М.А. Мензбир выделил Ивану Михайловичу комнату в своей лаборатории. Здесь он продолжил изучение механизмов газового обмена через посредство жидких сред организма. В 1891 г. он был избран ординарным профессором физиологии на медицинском факультете Московского университета и в том же году стал заведующим Физиологическим институтом, сформированным на базе этого факультета. Административные преобразования помогли ему развернуть научную работу с широким привлечением к ней студенческой молодёжи [4, 5]. Основным помощником И.М. Сеченова стал студент медицинского факультета М.Н. Шатерников, будущий профессор Московского университета. С его именем связаны работы Сеченова по физиологии труда, касавшиеся изучения лёгочного газообмена и биомеханики. Разносторонний талант Ивана Михайловича позволил обосновать целый ряд кардинальных положений в этом прикладном разделе физиологической науки. В частности, он доказал, что утомление развивается не в работающем органе, а в структурах центральной нервной системы. Он впервые обнаружил феномен активного отдыха и разработал физиологические критерии для установления продолжительности рабочего дня.

Научно-педагогическая деятельность И.М. Сеченова в Московском университете сочеталась с чтением лекций на Высших женских курсах. Он оставался верным своим демократическим убеждениям. Однако время брало своё, и в апреле 1898 г. Иван Михайлович оставил заведование Физиологическим институтом. Позднее, в декабре 1901 г., он подал прошение об отставке. После выхода на пенсию Сеченовым в 1903–1904 гг. были написаны "Автобиографические записки", дающие обширный материал для современных историков физиологической науки. В них он аргументирует своё решение следующим образом: "Покончить преподавательскую деятельность побудили меня лета, сознание начавшейся отсталости в науке и убеждение, что старику не следует дожидаться времени, когда публика будет желать его ухода" [2, с. 79].

Осенью 1903 г. и весной 1904 г. Сеченов преподавал физиологию на Пречистенских курсах



Памятная медаль XV Международного физиологического конгресса. Ленинград–Москва, 1935 г.

для рабочих. 29 декабря 1904 г. Иван Михайлович избирается почётным членом Академии наук. К сожалению, это были завершающие этапы его творческой биографии.

2 ноября 1905 г. И. М. Сеченов скончался от воспаления лёгких. Причина этого заболевания была связана с гуманными убеждениями "отца российской физиологии". В семье Ивана Михайловича не было детей и весь потенциал родительских чувств переносился на домашних животных. Таким своеобразным баловнем судьбы был сенбернар Бурка, которому многое прощалось. В один из холодных, дождливых и ветреных ноябрьских вечеров Сеченов вышел вместе с Буркой на вечернюю прогулку. И вдруг пёс куда-то исчез. Встревоженный хозяин целый час под проливным дождём искал собаку по соседним улицам и в конце концов нашёл. Дома встревоженная Мария Александровна, помогая Ивану Михайловичу раздеться, дотронулась ладонью до его лба. Лоб горел. Мария Александровна уложила мужа в постель и измерила температуру. Термометр показал 39,9°C. Это было крупозное воспаление лёгких, перед которым медицина тех времён пасовала. Через семь дней в 23 ч 45 мин 2 ноября 1905 г. Сеченова не стало.

На похоронах присутствовали певица Антонина Нежданова и великий русский ботаник-дарвинист К. А. Тимирязев. Во время панихиды Тимирязев неотрывно смотрел на лицо покойника, и в памяти его звучали слова: "Работать, работать, работать...". Небольшое наследство Ивана Михайловича по завещанию было разделено между крестьянской общиной села Тёплый Стан и Шатерниковым — на оплату научной аппаратуры, Бокковой отходили только личные вещи покойного. Его тело было предано земле на Ваганьковском кладбище в Москве при минимальном числе участников церемонии.

Мария Александровна пережила мужа на четверть века и умерла в Москве в 1929 г. В своём завещании она писала: "Ни денег, ни ценных вещей у меня не имеется. Поэтому приходится просить приютившее меня учреждение принять

на себя хлопоты и траты по моему погребению. Искренне прошу у Цекубу [Центральный комитет по улучшению быта учёных. — *А.Н., М.П.*] прощения. Прошу похоронить меня без церковных обрядов как можно проще и дешевле... подле могилы моего мужа". Так и было сделано. На постаменте мраморного креста надпись изменили на "И. М. и М. А. Сеченовы". В 1940 г. их останки перенесли на Новодевичье кладбище.

Переоценить вклад Ивана Михайловича Сеченова в российскую физиологию невозможно — он её создал. Позволим себе вольное сравнение: физиология в России до Сеченова и после него соотносятся примерно так же, как русская литература до и после Пушкина. Научная и педагогическая деятельность Ивана Михайловича проходила в стенах четырёх учебных заведений: в Медико-хирургической академии, Новороссийском (ныне Одесском), Санкт-Петербургском и Московском университетах. В каждом из них он оставил свой след. Особенность его влияния (помимо сделанных им лично научных открытий) заключалась ещё и в переносе на отечественную почву знаний и идей, занимавших тогда лидеров мировой науки.

Активные продолжатели идей Ивана Михайловича — первый Нобелевский лауреат из России академик И. П. Павлов и позже академики Л. А. Орбели, П. К. Анохин, В. Н. Черниговский и многие другие — создали Общество физиологов, биохимиков и фармакологов им. И. М. Сеченова, а позже, уже в структуре АН СССР в 1938 и 1963 гг. — отделение биологических и физиологических наук. В 1956 г. под руководством Л. А. Орбели был основан Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И. М. Сеченова АН СССР. Имя Сеченова также носят Первый московский государственный медицинский университет, "Российский физиологический журнал", а также многие исследовательские, лечебные и иные учреждения. Высшей научной наградой РАН в области физиологических наук является золотая медаль им. И. М. Сеченова.

84 года назад, в августе 1935 г., в Ленинграде и Москве И. П. Павловым был блестяще проведён XV Международный физиологический конгресс. Фактически он стал первым в России Всемирным научным конгрессом. На нём были широко представлены все континенты нашей планеты. Работу конгресса по предложению Ивана Петровича было решено связать с именем отца русской физиологии — И. М. Сеченова. Его изображение украсило памятную медаль конгресса, а для каждого участника был подготовлен двухтомник его сочинений с портретом самого Ивана Михайловича кисти И. Е. Репина.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Самойлов А.Ф.* И.М. Сеченов и его мысли о роли медицины в нашем познании природы // Научное слово. 1930. № 5. С. 44–65.
2. *Сеченов И.М.* Записки русского профессора от медицины. М.: АСТ, 2014.
3. Иван Михайлович Сеченов. Биография. Главные труды / Автор предисл., биографии и комментариев И.В. Князькин, А.Т. Марьянович. СПб.: ДЕАН, 2004.
4. *Яновская М.И.* Сеченов. М.: Молодая гвардия, 1959. (Серия "Жизнь замечательных людей")
5. *Ярошевский М.Г.* Иван Михайлович Сеченов. Л.: Наука, 1968.
6. *Ноздрачёв А.Д., Самойлова Л.А., Качалов Ю.П.* Двенадцать сеченовских лет (1876–1888) Петербургского университета // Физиологический журнал СССР. 1991. № 11. С. 126–131.
7. *Павлов И.П.* Речь председателя Общества русских врачей С.-Петербурга в заседании 22 марта, посвящённом памяти проф. И.М. Сеченова (1907 г.) // Полное собрание трудов. Т. 5. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1949. С. 358–360.
8. *Sherrington C.S.* The Spinal Cord // *Schaffers Textbook of Physiology*. V. III. Edinburgh, 1900.
9. *Ноздрачёв А.Д., Ланицкий В.П.* Феномен истории естествознания. Кафедра общей физиологии Санкт-Петербургского университета. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006.
10. *Сеченов И.М.* Рефлексы головного мозга. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
11. *Ноздрачёв А.Д.* 140 лет основания Ф.В. Овсянниковым кафедры общей физиологии Санкт-Петербургского университета // Российский физиологический журнал. 2003. № 11. С. 1451–1463.
12. *Ноздрачёв А.Д., Пальцев М.А., Поляков Е.Л. и др.* Нобелевские премии по физиологии или медицине (1901–2018). СПб.: Гуманистика, 2019.
13. *Ноздрачёв А.Д., Самойлова Л.А.* 250 лет преподавания физиологии в Петербургском—Ленинградском университете // Физиологический журнал СССР. 1988. № 6. С. 886–900.
14. *Ноздрачёв А.Д., Губанов Н.И.* Сеченов и некоторые вопросы диалектики чувственного познания // Вестник СПбГУ. Серия 3. 2005. № 3. С. 143–148.
15. *Сеченов И.М.* Физиология нервных центров. М.: Изд-во АМН СССР, 1952.
16. *Сеченов И.М.* Элементы мысли. М.: Научное слово, 1903.
17. *Сеченов И.М.* Беглый очерк научной деятельности русских университетов по естествознанию за последнее двадцатилетие // Вестник Европы. 1883. № 11. С. 341–349.
18. *Ухтомский А.А.* К пятидесятилетию советской физиологии // Собрание сочинений. Т. 5. Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1954. С. 31–119.

## THE FOUNDER OF RUSSIAN PHYSIOLOGY

## TO THE 190TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF IVAN M. SECHENOV

© 2019 A.D. Nozdrachev<sup>1,\*</sup>, M.A. Paltsev<sup>2,\*\*</sup><sup>1</sup>St. Petersburg state University, Saint Petersburg, Russia<sup>2</sup>Moscow State University, Moscow, Russia

\*E-mail: a.d.nozdrachev@mail.ru; \*\*E-mail: cimbm@bio.msu.ru

Received 17.12.2018

Revised version received 07.04.2019

Accepted 30.04.2019

This essay on the outstanding Russian educator, natural scientist, and physiologist Ivan M. Sechenov, the founder of the Russian physiological school, is being published for the 190<sup>th</sup> anniversary of his birth. It reviews the major parts of the scientific and pedagogical activity of Sechenov's work on his life path. His scientific achievements involved a wide range of physiological problems, including respiratory, metabolic, and neuromuscular physiology. Sechenov's greatest contributions were made in the study of the central nervous system, where he made the fundamental discoveries that form the basis of the study of all forms of brain activity. His scientific achievements received worldwide appreciation and laid the foundation for neurophysiology, neuroendocrinology, narcology, biophysics, comparative and evolutionary physiology, and the use of natural science in psychology. His name has been immortalized in the hearts and minds of many.

**Keywords:** I.M. Sechenov, physiology, neurophysiology, reflexes, nervous system.



---

В МИРЕ  
КНИГ

---

**А.А. Шахматов. Избранная переписка. В 3-х томах.  
Т. 1. Переписка с Ф.Ф. Фортунатовым, В.Н. Перетцем, В.М. Истриным /**

Отв. ред. В.Г. Вовина-Лебедева.

Сост. В.Г. Вовина-Лебедева, Е.Н. Груздева, А.Е. Жуков.

СПб.: Дмитрий Буланин, 2018. 944 с.

© 2019 г. О.В. Никитин

*Московский государственный областной университет, Москва, Россия*

*E-mail: olnikitin@yandex.ru*

Поступила в редакцию 17.04.2019 г.

Поступила после доработки 17.04.2019 г.

Принята к публикации 13.05.2019 г.

*Ключевые слова:* А.А. Шахматов, архивные документы, Императорская Академия наук, история языкознания, филологические традиции, гуманитарная наука конца XIX — начала XX в.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-5873898874-877>

Издание объёмного тома переписки крупнейшего отечественного филолога, организатора науки, председателя Отделения русского языка и словесности Императорской Академии наук академика Алексея Александровича Шахматова (1864—1920) стало заметным событием в современной гуманитарной мысли. Архивные документы (письма, неопубликованные статьи, заметки, книги), с одной стороны, открывают читателям, далёким от экспериментов и открытий рубежа XIX—XX вв., мир научных исканий выдающихся деятелей русского просвещения, педагогов, мыслителей, подвижников противоречивой эпохи смены культурных принципов и общественных настроений. С другой стороны, они показывают становление и развитие идей, живо представляют неординарные личности учёных того времени, рассказывают об их увлечениях и первых научных шагах, о малоизвестных эпизодах их биографий, описывают историко-культурную и бытовую атмосферу университетской жизни, посвящают в мир высоких устремлений, надежд и веры в духовную силу истории языка и культуры Отечества, памятников его письменности. Иными словами, погружают нас в то, что составляло предмет особенного интереса филологов дореволюционного периода российской науки.

---

НИКИТИН Олег Викторович — доктор филологических наук, профессор кафедры истории русского языка и общего языкознания МГОУ.

Фигура А.А. Шахматова — центральная в кругу самых известных академических деятелей, начиная с Ф.И. Буслаева, с которым тот познакомился ещё в гимназические годы, Ф.Ф. Фортунатова, В.Ф. Миллера, Ф.Е. Корша — университетских учителей А.А. Шахматова и, конечно же, академика И.В. Ягича, коллег по работе в Академии наук — А.Н. Веселовского, В.М. Истрина и М.Н. Сперанского. Многогранная подвижническая деятельность Алексея Александровича по организации филологического образования в России, интерес к древним памятникам славянства, огромные усилия на ниве педагогического просвещения и борьба за сохранение наследия дореволюционной школы в первые советские годы показывают его как незаурядного мыслителя, выдающегося лингвиста и радетеля науки. Можно с уверенностью сказать, что этот кроткий человек, "голубица", как его называли, своим авторитетом поднимал интерес общества к изучению летописей и средневековой агиографии. Работы Шахматова по лингвистическому источниковедению, выступления в печати по актуальным проблемам гуманитарного знания, твёрдая, правдивая общественная позиция и бесспорный учительский талант говорят о его ведущей роли в самый трагический период в истории жизни России конца XIX — начала XX в. Как справедливо заметил член-корреспондент РАН А.В. Сиренов во вступительной статье, предвещающей рецензируемую

книгу, именно со времени А.А. Шахматова «термин "историко-филологическая наука" наполнился новым содержанием» (с. 9).

Несмотря на изданные в настоящее время мемориальные материалы и исследования по славистике, в которых освещалась научно-биографическая деятельность Алексея Александровича [1, 2], новые документы по истории Императорской Академии наук [3], публикации неизвестных статей учёного [4], воспоминаний [5] и даже повестей о нём [6], большой пласт его рукописных текстов до сих пор никем не расшифрован и потому малодоступен для широкого использования. Речь идёт прежде всего о переписке Шахматова и посланиях к нему — это тысячи листов подлинных документов, хранящихся в личном фонде учёного в Санкт-Петербургском филиале Архива РАН, Библиотеке Российской академии наук, Российском государственном архиве литературы и искусства, в других хранилищах России, Украины и европейских государств.

Прошедшая в 2015 г. в Академии наук конференция, приуроченная к 150-летию со дня рождения А.А. Шахматова, позволила исследователям по-другому посмотреть на эпистемологию науки, в летописи которой ещё немало белых пятен. Историки и лингвисты, специалисты по древнерусской литературе и культуре, этнографы, философы, архивисты собрали и обнародовали интересные факты биографического и научного характера [7] и придали свежее дыхание шахматоведению. Значит, идеи, замыслы и труды почтенного учёного не остались только в прошлом как золотой библиотечный фонд, а продолжают жить, воспитывают новые поколения гуманитариев на подлинных ценностях историко-филологической науки.

Рецензируемая книга удачно вписывается в классическую традицию лингвистического отечествоведения и погружает читателей в мир творческих исканий и филологических открытий плеяды компаративистов, "древников", без стеснения скажем, легендарных учёных рубежа XIX–XX вв.

Неслучайно ответственный редактор и составители открывают том письмами Шахматова Ф.Ф. Фортунатову начала 1880-х годов, когда Алексей Александрович делал первые шаги в науке и на этом поприще встретил преданного наставника в лице профессора Императорского Московского университета. Биографии двух учёных, их лингвистические и общественные искания с того времени шли бок о бок и не прекращались вплоть до смерти учителя в 1914 г. Фактически вся профессиональная биография Алексея Александровича связана духовными узами с содержанием и смыслом самого передового направления в филологии — сравнительно-

исторического. Дискуссии молодого Шахматова с Фортунатовым проходили почти незаметно, в частных письмах и личных встречах с главой Московской формальной школы, а позднее вылились в глубокие исследования по истории славянских языков, древнерусскому летописанию и актуальным проблемам новейшей синхронической лингвистики первых десятилетий XX в.

Послания Шахматова Фортунатову были, по мнению В.Г. Вовиной-Лебедевой, наиболее частыми в 1891–1902 гг., когда Филипп Фёдорович проживал в Москве (с. 14). Это самый важный период становления личности А.А. Шахматова, когда он метался между преподавательской деятельностью и работой земским начальником в родной ему Саратовской губернии. Поиски своего пути, духовные терзания, огромное желание приносить пользу Отечеству — эти мысли звучали во многих строках откровенных признаний учёного.

Опубликованные документы свидетельствуют о высоких нравственных качествах Алексея Александровича, показывают круг его общения. Действительно, можно согласиться с редактором книги, что "отношения А.А. Шахматова с товарищами по научному цеху имели свои особенности: они никогда не были связаны с тем, был ли этот человек известным учёным или начинающим преподавателем, и был ли А.А. Шахматов согласен с ним в научных вопросах. Он с особенным усердием помогал печатать те статьи, которые содержали критику его собственных научных взглядов" (с. 15).

Отметим ещё один момент в материалах к биографии Шахматова. Как известно, Алексей Александрович рано лишился родителей и воспитывался в семье дяди. С момента его знакомства с Фортунатовым, то есть с гимназических лет, младший коллега относился к старшему как "к отцу и самому близкому человеку, что придаёт особую ценность переписке" (с. 16).

Кроме широкого круга научных вопросов в письмах отражены и детали общественной жизни тех лет. Корреспонденты обсуждают, хотя и осторожно, политические проблемы, выборы в Академию наук, крестьянский вопрос, что "делает переписку А.А. Шахматова с Ф.Ф. Фортунатовым важным источником по изучению настроений в среде либеральной интеллигенции" (с. 17).

Переписка Алексея Александровича с В.Н. Перетцем охватывала 1898–1920-е годы. Составители книги не ограничились публикацией писем, освещавших филологические проблемы, а представили богатую палитру историко-культурных и общественных связей Киева и Санкт-Петербурга. Например, по словам В.Г. Вовиной-Лебедевой, "большой интерес представляет восприятие В.Н. Перетцем положения в Киеве в годы, предшествовавшие Первой русской революции, рас-

сказы о самой этой революции и реакции на неё со стороны местной интеллигенции" (с. 18).

Ещё один блок писем связан с многолетними контактами А.А. Шахматова и В.М. Истрина. Эти документы тоже несут отпечаток общественных настроений начала XX в. Интересны и приводимые в книге факты научных связей двух крупнейших славистов, представителей разных направлений исследования русского летописания [8]. Хотя учёные расходились в методике изучения древнерусских текстов, оба были выходцами из одной школы академика Ф.И. Буслаева. Именно она формировала научную традицию в XIX столетии [9]. И здесь согласимся с В.Г. Воиной-Лебедевой: «Расхождение между собой научных "внуков" последнего даёт возможность проследить разветвление одного из наиболее значительных научных направлений в историко-филологической науке в России во второй половине XIX—XX вв.» (с. 21).

Концептуально издание выдержано грамотно. Удобное (сразу после текстов писем) расположение сносок и комментариев раскрывает многие даты и события, описываемые в мемориальных материалах. Здесь же в хронологической последовательности помещены и ответные письма Ф.Ф. Фортунатова, В.Н. Перетца и В.М. Истрина Шахматову. Это позволяет читателям видеть не только отрывки эпистолярия, но и быть свидетелем научных полемик, глубже понимать особенности исторического момента, даже учиться у этих авторов правильной стилистике деловой речи и особому духу письменного общения, который сквозит в каждом письме Алексея Александровича и его корреспондентов.

Наверное, можно поспорить с составителями о представленности и структуре публикуемых текстов, среди которых хотелось бы видеть и других славистов тех лет, например, норвежского ученика Фортунатова Олафа Брока, близкого друга Шахматова, его московских коллег и соратников Д.Н. Ушакова и Н.Н. Дурново. Их связи с Алексеем Александровичем длились долгие годы, практически до самых последних месяцев жизни учёного, и не прекращались в сложный послереволюционный период. Надеюсь, настанет время для обнародования и этих документов.

Научный аппарат издания подготовлен в лучших традициях академической науки: книгу сопровождают краткие, но информативные комментарии к письмам, редкие фотоиллюстрации, список литературы, именной аннотированный указатель, предисловия академика РАН И.П. Медведева и члена-корреспондента РАН А.В. Сиренова, а также подробная статья В.Г. Воиной-Лебедевой "А.А. Шахматов и его избранная переписка".

Подготовка любого мемориального издания — трудоёмкий и очень неспешный труд, который способны выполнить исследователи высшей квалификации. Ведь каждый раз в письмах возникают ссылки или упоминания событий и дат, не всегда прямо связанных с филологией, но требующих пояснений. Кроме того, почерк Шахматова своеобразен, к нему надо привыкнуть и при этом обладать немалым терпением, чтобы расшифровать "извития словес". Такая кропотливая работа по силам лишь влюблённым в дело архивистам и грамотным историографам науки.

Перед нами только первый том "Избранной переписки". Сейчас к изданию готовится второй, куда войдут интереснейшие материалы по лингвистическому и историческому эпистолярным Ф.Е. Корша, А.Е. Преснякова, М.Д. Приселкова и других коллег и учеников Шахматова. Главное, что мы уже имеем достаточно большой корпус исследований по истории гуманитарной науки первой половины XX в., особенно той её части, которая рассказывает о трагических этапах революции и реформ [10, 11] и позволяет нам объективно и деликатно комментировать противоречивые факты и обстоятельства общественной жизни России тех лет.

В заключение подчеркну, что лингвистическое отечествоведение [12] как особая парадигма научного знания имеет важное значение в свете создания полноценной истории нашей науки. Любые факты и детали, которые можно извлечь из её неофициальной части, воспоминания и дневники участников и свидетелей расцвета и гибели "буржуазных" взглядов, как их стали трактовать позднее, помогут восстановить хронику историко-филологических событий и воздать должное гражданскому мужеству, благородству и высоким идеалам наших соотечественников — филологов и историков, стоявших у основания академической науки нового времени. С их методологией и подходами к изучению памятников письменности во многом сверяет свои шаги и современная наука. Без вдумчивого отношения к прошлому и правдивой оценки его достижений, без проникновения в лабораторию творчества учёного сложно найти ключ к пониманию стратегии науки XXI в. В этом нам всегда будут помогать архивные документы, воскрешающие исторические факты живой летописи науки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Шахматов. 1864-1920. Сборник статей и материалов / Под ред. академика С. П. Обнорского. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947.
2. Письма И.В. Ягича к русским учёным. 1865-1886. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963.



3. Отделение русского языка и словесности Императорской Академии наук за первые 50 лет его деятельности: 1841-1891 гг. Сборник документов / Сост. Е. Ю. Басаргина, А.А. Кирикова. Отв. ред. И.В. Тункина. СПб.: Нестор-История, 2016.
4. *Шахматов А.А.* О государственных задачах русского народа в связи с национальными задачами племён, населяющих Россию / Подготовка к публикации, предисловие и примечания О.В. Никитина // Вопросы филологии. 2006. № 2. С. 74-85.
5. *Масальская Е.А.* Воспоминания о моём брате А.А. Шахматове. М.: Изд-во им. Сабашниковых, 2012.
6. *Макаров В.И.* "Такого не бысть на Руси прежде...". Повесть об академике А.А. Шахматове. СПб.: Алетейя, 2000.
7. Академик А.А. Шахматов: жизнь, творчество, научное наследие: Сборник статей к 150-летию со дня рождения учёного / Отв. ред. О.Н. Крылова, М.Н. Приёмшева. СПб.: Нестор-История, 2015.
8. *Вовина-Лебедева В.Г.* Школы исследования русских летописей: XIX-XX вв. СПб.: Дмитрий Буланин, 2011.
9. *Никитин О.В.* Основатель исторической науки о русском языке. К 200-летию со дня рождения академика Ф.И. Буслаева // Вестник РАН. 2019. Т. 89. № 3. С. 285-296.
10. В защиту Отделения русского языка и словесности Российской академии наук. По поводу проекта о слиянии II и III Отделений в "Отделение истории и филологии" (1920-е гг.) / Предисловие и публикация О.В. Никитина // Известия РАН. Сер. литературы и языка. 2002. № 4. С. 56-64.
11. *Робинсон М.А.* Судьбы академической элиты: Отечественное славяноведение (1917 – начало 1930-х годов). М.: Индрик, 2004.
12. Лингвистическое отечествоведение. Коллективная монография. В 2-х томах / Под ред. В.И. Макарова. Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2001.

**A.A. Shakhmatov. Selected correspondence. In 3 vol. Vol. 1: Correspondence with F.F. Fortunatov, V.N. Peretz, and V.M. Istrin / V.G. Vovina-Lebedeva (ed.), compiled by V.G. Vovina-Lebedeva, E.N. Gruzdeva, and A.E. Zhukov**  
Saint Petersburg: Dmitry Bulanin, 2018. 944 p.

© 2019 O.V. Nikitin

*Moscow Region State University, Moscow, Russia*

*E-mail: olnikitin@yandex.ru*

Received 17.04.2019

Revised version received 17.04.2019

Accepted 13.05.2019

*Keywords:* A.A. Shakhmatov, archival documents, Imperial Academy of Sciences, history of linguistics, philological traditions, humanities of the late nineteenth to early twentieth centuries.

---

В МИРЕ  
КНИГ

---

**И.И. Смульский. Новая астрономическая теория ледниковых периодов**

Riga: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. 132 с.

© 2019 г. В.Е. Жаров

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

*E-mail: vladzh2007@yandex.ru*

Поступила в редакцию 17.12.2018 г.  
Поступила после доработки 17.12.2018 г.  
Принята к публикации 08.04.2019 г.

В представляемой книге рассматривается новый подход в астрономической теории изменения климата, который заключается в решении задач орбитального и вращательного движений Земли с помощью численного метода. Автором монографии исследована эволюция земной оси и получены периоды её колебаний, совпадающие с наблюдаемыми. Расчёты на 100 тыс. лет показали значительное колебание земной оси, которое приводит к колебаниям инсоляции и, как следствие, к изменению палеоклимата.

*Ключевые слова:* небесная механика, астрономия, орбитальное и вращательное движение Земли, эволюция орбитального и вращательного движений, дифференциальные уравнения орбитального и вращательного движений, инсоляционные периоды изменения климата.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873898878-879>

Причина чередования ледниковых периодов на Земле — один из самых интригующих вопросов в проблеме изменения климата. Главный научный сотрудник Института криосферы Земли СО РАН (г. Тюмень) доктор физико-математических наук И.И. Смульский в монографии "Новая астрономическая теория ледниковых периодов", вышедшей в свет в середине 2018 г., показал, что чередование ледниковых периодов обусловлено колебаниями параметров орбитального и вращательного движений Земли. Эта причина последовательно и с нарастающей определённо выясняется им в трёх вышедших одна за другой монографиях. В изданной совместно с В.П. Мельниковым — "Астрономическая теория ледниковых периодов: новые приближения. Решённые и нерешённые проблемы" (2009) — исследована эволюция орбитального движения Земли. В монографии "Эволюция оси Земли и палеоклимата за 200 тыс. лет" (2016) представлены результаты эволюции вращательного движения Земли за 200 тыс. лет, изменения её инсоляции и как она согласуется с палеоклиматом. В последней книге — "Новая астрономическая теория ледниковых периодов" — на временном интервале 20 млн лет рассматривается вся проблема в целом. Материал

представлен в доступной для широкого круга читателей форме. Основные результаты, связанные с решением дифференциальных уравнений орбитального и вращательного движений, вынесены в конец монографии и в Приложения.

Книга начинается с наглядного представления орбитального и вращательного движений Земли, от которых происходят суточные и годовые изменения освещения Земли Солнцем. Здесь же показаны главные стороны их эволюции, а именно прецессия орбиты Земли и её оси вокруг разных направлений в пространстве. Эти представления помогают читателю понять все особенности эволюции движения нашей планеты в небесно-механических координатах, которые известны только узкому кругу исследователей.

Кроме того, в монографии показана эволюция орбитального движения на разных интервалах времени и аналогично ей — эволюция вращательного движения на интервале от 0,1 года до 10 тыс. лет. Автор сопоставляет свои результаты для наклона оси вращения Земли с наблюдениями и данными других исследователей. Они совпадают. Отличия результатов начинаются после 3 тыс. лет, и причина заключается в разных степенях учёта вращательного движения Земли в астрономической теории изменения климата. В прежней, которую ещё называют теорией Миланковича, используется упрощённый учёт прецессии оси Земли на основании уравнений Пуассона, полученных из дифференциальных

---

ЖАРОВ Владимир Евгеньевич — доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

уравнений вращательного движения, в которых отброшены вторые производные и произведения первых производных. Смутьский последние уравнения решал численными методами без упрощения для модели абсолютно твёрдой Земли. Это позволило выяснить, что колебания оси вращения недеформируемой Земли имеют амплитуду в 7–8 раз большую, чем она была зафиксирована в прежних теориях. В конце книги и в Приложениях этот вопрос детализирован. Задачу о вращении Земли автор решил тремя методами и проверял результаты в течение трёх лет. Данные подтвердились. В монографии (рис. 61, 62) Смутьский объяснил физическую причину больших колебаний оси Земли. Оказывается, что прецессия перпендикулярна к орбите Земли и её оси происходит относительно разных направлений в пространстве. Первое прецессирует относительно суммарного вектора момента количества движения Солнечной системы. В небесной механике плоскость, перпендикулярную этому вектору, называют плоскостью Лапласа, а ось вращения недеформируемой Земли прецессирует относительно другого направления, которое отклонено от вектора момента на угол  $3,2^\circ$ .

Такое отличие прецессионных движений орбиты Земли и её экватора можно было установить только путём решения дифференциальных уравнений вращательного движения Земли с высокой точностью и за большие интервалы времени. Это новый и важный результат в небесной механике и астрономии, способствующий лучшему пониманию устройства Солнечной системы и её эволюции.

После рассмотрения орбитального и вращательного движений следуют графики изменения угла наклона и инсоляции Земли за 200 тыс. лет.

Экстремумы инсоляции пронумерованы, введены инсоляционные периоды изменения климата. Показано, что за последние 50 тыс. лет они согласуются с известными изменениями палеоклимата, то есть, по существу, колебания инсоляции являются причиной долгопериодических (так называемых вековых) колебаний климата.

Далее в книге на интервале 1, 5 и 20 млн лет рассматриваются изменения угла наклона и инсоляции Земли. На графиках для сравнения приводятся изменения этих параметров по "старой" астрономической теории. После 5 млн лет даны сводные графики как инсоляции, так и параметров орбитального и вращательного движений, от которых зависит инсоляция. После 20 млн лет анализируется статистика изменений угла наклона и инсоляции.

Изменения инсоляции и угла наклона представлены также в современную эпоху и в будущем за 1 млн лет. В последней главе рассмотрен ряд дополнительных проблем, в том числе сопоставление инсоляционных периодов с морскими изотопными стадиями (МИС). Автор приходит к выводу, что МИС не отражают изменения инсоляции и палеоклимата.

Основу книги составляют многочисленные графики (63 иллюстрации) и текстовые пояснения к ним. Графики, содержащие значительный объём информации, превосходящий объём самой монографии, будут служить основой для дальнейших исследований в различных областях науки.

Книгу можно рассматривать как важный этап в понимании окружающего мира и процессов, происходящих в нём. Её можно рекомендовать студентам и аспирантам, изучающим физику и астрономию, а также специалистам в области наук о Земле.

## **I.I. Smul'skii. New astronomical theory of the ice ages**

Riga: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2018. 132 p.

© 2019 V.E. Zharov

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

*E-mail: vladzh2007@yandex.ru*

Received 17.12.2018

Revised version received 17.12.2018

Accepted 08.04.2019

In this book, a new approach to the astronomical theory of climate change is considered, and problems of the orbital and rotational motion of the Earth are solved using the numerical method. The author of the monograph investigated the evolution of the earth's axis and obtained the periods of its oscillations coinciding with observed oscillations. Calculations that covered 100,000 years showed a significant oscillation of the earth's axis, which has led to fluctuations in insolation that can explain the changes in the paleoclimate.

*Keywords:* celestial mechanics, astronomy, orbital and rotational motion of the Earth, evolution of orbital motion, differential equations of orbital and rotational motion, insolation periods of climate change.



## ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТДЕЛ

### НАГРАДЫ И ПРЕМИИ

*Ключевые слова:* А.М. Прохоров, В.В. Осико, элементная база лазерной физики и лазерной техники, медицинские технологии, приборы и инструменты; И.Е. Забелин, А.И. Айбабин, Э.А. Хайрединова, история крымских готы; А.А. Расплетин, В.С. Верба, межвидовой многофункциональный авиационный комплекс радиолокационного дозора и наведения; А.И. Мальцев, В.Д. Мазуров, теория групп; Н.С. Шатский, А.М. Никишин, история тектонического развития Арктического региона; Л.И. Мандельштам, Е.И. Пелиновский, А.В. Слюняев, А.И. Дьяченко, разработка физико-математических моделей волн-убийц.

#### ЗОЛОТАЯ МЕДАЛЬ ИМЕНИ А.М. ПРОХОРОВА 2018 ГОДА — В.В. ОСИКО



Президиум РАН присудил золотую медаль им. А.М. Прохорова 2018 г. академику РАН Вячеславу Васильевичу Осико за цикл работ, опубликованных в период 1960—2017 гг., внесших значительный вклад в развитие ряда направлений современной физики.

Удостоенный золотой медали цикл работ представляет собой результаты многолетних исследований, опубликованных в виде 650 научных статей в ведущих физических журналах и тематических сборниках, 3 монографиях, а также оформленных в виде более чем 50 авторских свидетельств и патентов. Труды В.В. Осико внесли существенный вклад в развитие нескольких направлений современной физики, в том числе в создание элементной базы лазерной физики и лазерной техники. Разработаны методы выращивания лазерных кристаллов, на их

основе впервые созданы непрерывные лазеры, которые в своё время были самыми мощными твердотельными лазерами.

Часть работ В.В. Осико нацелена на исследование тонкой структуры кристаллов с примесями редкоземельных элементов. Это значительный вклад в лазерную физику и физику твёрдого тела. Многие работы посвящены созданию и изучению особо тугоплавких материалов с особыми механическими свойствами, в частности, наноструктурированных кристаллов частично стабилизированных твёрдых растворов на основе диоксида циркония, нашедших широкое применение в медицине и технике и в настоящее время производящихся в промышленных масштабах. Особое место занимают работы по созданию медицинских технологий, основанных на использовании лазеров, высокочастотных токов и низкотемпературной плазмы. Создан целый ряд медицинских приборов и инструментов для общей хирургии, гинекологии, кардиологии, косметологии.

#### ПРЕМИЯ ИМЕНИ И.Е. ЗАБЕЛИНА 2018 ГОДА — А.И. АЙБАБИНУ И Э.А. ХАЙРЕДИНОВОЙ



Президиум РАН присудил премию им. И.Е. Забелина 2018 г. доктору исторических наук Александру Ильичу Айбабину (Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского) и кандидату исторических наук Эльзаре Айдеровне Хайрединовой (Институт археологии Крыма РАН) за коллективную монографию "Крымские готы страны Дори (середина III—VII вв.)".

В удостоенной премии коллективной монографии рассматривается одна из наиболее дискутируемых проблем изучения позднеантич-

ного и раннесредневекового Крыма — история крымских готов. Авторы монографии предлагают новую концепцию происхождения и исторического развития этого народа, основанную на комплексном анализе текстов византийских авторов и археологических материалов, в том числе полученных в ходе собственных многолетних раскопок памятников Юго-Западного Крыма. Представлена подробная характеристика археологической культуры населения области Дори, которую авторы локализируют между Внешней и Главной грядями Крымского горного хребта и на южном склоне Главной гряды. Разработана узкая хронология

закрытых комплексов, которые являются эталонными не только для средневекового Крыма, но и для Восточного Средиземноморья, Европы и Северной Африки. Прослежена эволюция культуры, обоснована этническая (готская и аланская) принадлежность её носителей. Охарактеризованы экономика, повседневные обычаи и духовная культура местного населения, рассмотрено влияние на все стороны его жизни византийских традиций и христианства. Работа представляет собой важный вклад в изучение истории и археологии не только Крыма, но и России, а также раннесредневековой Европы.

#### ПРЕМИЯ ИМЕНИ А.А. РАСПЛЕТИНА 2018 ГОДА — В.С. ВЕРБЕ



Президиум РАН присудил премию им. А.А. Расплетина 2018 г. члену-корреспонденту РАН Владимиру Степановичу Вербе за цикл научных работ по обоснованию направлений развития, принципов построения и функционирования межвидового многофункционального авиационного комплекса радиолокацион-

ного дозора и наведения нового поколения как информационно-управляющей системы.

В удостоенном премии цикле излагаются результаты исследований по теоретическим основам

разработки и принципам построения существующих и перспективных авиационных комплексов радиолокационного дозора и наведения — сложных информационных систем, которые, как правило, включают в себя совокупность разнодиапазонных радиолокационных и оптических систем, систем навигации, автоматического управления, передачи информации, команд целеуказания и управления. Эти исследования позволили коллективу учёных и специалистов АО «Концерн радиостроения "Вега"» разработать межвидовой многофункциональный авиационный комплекс радиолокационного дозора и наведения пятого поколения с тактико-техническими характеристиками, превосходящими мировой уровень. В настоящее время комплекс находится на стадии государственных испытаний.

#### ПРЕМИЯ ИМЕНИ А.И. МАЛЬЦЕВА 2018 ГОДА — В.Д. МАЗУРОВУ



Президиум РАН присудил премию им. А.И. Мальцева 2018 г. члену-корреспонденту РАН Виктору Даниловичу Мазурову за серию научных работ "Периодические группы с заданными порядками элементов".

На развитие теории групп — направления современной алгебры, свя-

занного с именем А.И. Мальцева, — наибольшее влияние в XX в. оказали проблема Бернсайда и проблема классификации простых конечных групп. Удостоенная премии серия научных работ — фундаментальный вклад В.Д. Мазурова в развитие теории групп, поясняющий различные свойства групп через порядки их элементов, и существенное продвижение в задачах бернсайдовского типа.

### ПРЕМИЯ ИМЕНИ Н.С. ШАТСКОГО 2018 ГОДА – А.М. НИКИШИНУ



Президиум РАН присудил премию им. Н.С. Шатского 2018 г. доктору геолого-минералогических наук Анатолию Михайловичу Никишину (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова) за цикл работ "Тектоническое строение и история формирования Арктического региона".

Удостоенный премии цикл работ включает 18 статей и 1 монографию и вносит существенный вклад в понимание истории тектонического развития Арктического региона. Выполненный А.М. Ни-

кишиным анализ тектонической эволюции Арктики показывает, что в мезозое и кайнозое огромная площадь Арктического региона испытывала постоянное субширотное растяжение в восточном направлении, которое привело к образованию тектонических структур Американо-Азиатского бассейна, а затем в кайнозое – Евразийского бассейна. Автором установлена важная роль рифтогенеза в формировании осадочных бассейнов Арктики, составлена новая тектоническая схема Арктического региона. Результаты исследований А.М. Никишина имеют важное практическое значение для нефтяных компаний, ведущих поиски углеводородов. Оригинальные разработки автора использованы при подготовке Заявки Российской Федерации по расширению внешней границы арктического шельфа.

### ПРЕМИЯ ИМЕНИ Л.И. МАНДЕЛЬШТАМА 2018 ГОДА – Е.Н. ПЕЛИНОВСКОМУ, А.В. СЛЮНЯЕВУ И А.И. ДЬЯЧЕНКО



Президиум РАН присудил премию им. Л.И. Мандельштама 2018 г. доктору физико-математических наук Ефиму Наумовичу Пелиновскому, доктору физико-математических наук Алексею Викторовичу Слюняеву (Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН), доктору физико-математических наук Александру Ивановичу Дьяченко (Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН) за цикл работ "Физиче-

ские процессы, приводящие к образованию волн-убийц".

Удостоенный премии цикл по разработке физико-математических моделей волн-убийц, их моделированию и приложению теории к проблеме аномально высоких волн в море и плазме представляет собой фундаментальный вклад в развитие физики нелинейных волновых процессов. Авторами впервые

проведено комплексное исследование физических механизмов, приводящих к появлению волн-убийц; предложены эффективные модели для описания экстремальных волн на воде. На этой основе созданы портреты волн-убийц в различных приложениях, определены времена их жизни, предложены возможные способы краткосрочного прогноза опасных волн в океане. Развитые теории подкреплены данными лабораторных экспериментов и натурных наблюдений.

## AWARDS AND PRIZES

*Keywords:* A.M. Prokhorov, V.V. Osiko, the element base of laser physics, medical technology, devices and tools; I.E. Zabelin, A.I. Aibabin, E.A. Khairidinova, history of the Crimean ghats; A.A. Raspletin, V.S. Verba, interspecific multifunctional aviation radar watch complex; A.I. Maltsev, V.D. Mazurov, group theory; N.S. Shatskii, A.M. Nikishin, history of the tectonic development of the Arctic region; L.I. Mandelshtam, E.I. Pelinovskii, A.V. Slunyaev, A.I. Diachenko, development of physical and mathematical models of killer waves.