

В НОМЕРЕ:**3 ПУТЬ В ПРЕЗИДЕНТЫ**

К 100-летию со дня рождения М.В.Келдыша

Хроника: 1911–1978 (4)**Детство, отрочество, юность**Рассказ младшей сестры,
Веры Всеволодовны (8)**В ЦАГИ**По воспоминаниям Я.М.Пархомовского
и Л.С.Попова (12)**Печать времени (15)****Маров М.Я.****Слово об Учителе (16)****Коротеев А.С., Гафаров А.А.****Могучий сплав теории
и практики (25)****Зеленый Л.М., Закутняя О.В.****Научный космос
имени Келдыша (34)****Аптекарев А.И.****Математический портрет (42)****Езерова Г.Н.****Несколько заключительных слов (50)****52 Алфимова М.В.****Униженные и оскорбленные...
дьявольские самцы**

Интерес к наследственным основам преступности имеет давнюю историю. Однако до сих пор вопрос о роли так называемого бойцовского гена MAOA в жестокости нельзя считать решенным.

60 Болдырев И.А., Молотковский Ю.Г.**Рулетка для спектроскописта**

Беспроводным может быть не только Интернет или телефон. В мире макромолекул бесконтактный перенос энергии тоже существует и позволяет изучать детали взаимодействия молекул между собой.

63 Базилевская Е.С., Мошаров С.А.**Железомарганцевые руды:
безопасная добыча в океане**

Многолетние химико-минералогические исследования железомарганцевых руд в океане позволили предложить принципиально новый способ добычи металлов с глубоководного дна, основанный на особенностях геохимии марганца.

69 Наугольных С.В.**Палеоэкологический палимпсест**

Палеонтолог в своей работе напоминает реставратора, который добирается до погребенной в черноте небытия записи-палимпсеста, освобождая ее от поздних дописок. Подобным образом палеонтолог восстанавливает пищевые цепочки, которыми были связаны организмы древней экосистемы.

О чем писала «Природа»**76 Федоров Е.С.****Первые шаги в деле распознавания
и расположения атомов
в кристаллах****Блох Ю.И.****Воплощение мечтаний
Евграфа Федорова (82)****85 Новости науки**

Сколько звезд во Вселенной? (85). Точное измерение массы цефеиды (85). Трехмерные культуры клеток (86). Выращивание тканей кишечника из клеток кожи (86). Расселение стрекоз: масштабы и последствия (87). Холодоустойчивость и ареал тропического дождевого червя (87). Размножение ларги в заливе Петра Великого (88). Железомарганцевые образования на дне Байкала (88). Рост атмосферного CO₂ в середине эоцена (89).

Рецензии**90 Казанцева А.А.****Все, чего мы не знали об эволюции
(на кн.: А.В.Марков. Рождение сложности.
Эволюционная биология сегодня:
неожиданные открытия и новые вопросы)****93 Новые книги****В конце номера****95 Кузьмин А.В.****Щит Собесского**

CONTENTS:

3 ROAD TO PRESIDENCY

To Centenary of M.V.Keldysh

Chronicle: 1911–1978 (4)

Childhood, Adolescence, Youth

Account of younger sister,
Vera Vsevolodovna (8)

In Central Institute of Aero-Hydrodynamics

According memoirs by Ya.M.Parkhomovsky
and L.S.Popov (12)

Mark of Time (15)

Marov M.Ya.

A Word about the Teacher (16)

Koroteev A.S., Gafarov A.A.

**Mighty Alloy of Theory
and Practice (25)**

Zelenyi L.M., Zakutnyaya O.V.

**Scientific Cosmos
Named after Keldysh (34)**

Aptekarev A.I.

Mathematical Portrait (42)

Ezerova G.N.

Some Concluding Remarks (50)

52 Alfimova M.V.

**Humiliated and Aggrieved...
Devilish Males**

Interest in hereditary basis of criminality has a long history. But still the role of so-called «fighting gene» MAOA in proclivity to cruelty can't be considered decided.

60 Boldyrev I.A., Molotkovsky Yu.G.

Roulette for Spectroscopy Researcher

Not only telephone or Internet can be wireless. In the realm of macromolecules a contact free transfer of energy also exists and allows studying the details of molecular interactions.

63 Basilevskaya E.S., Mosharov S.A.

**Ferrimanganese Ores:
Safe Mining in the Ocean**

Many years of chemical and mineralogical study of ferromanganese ores in the ocean allowed to propose a principally new technology of extracting metals from deep ocean bottom based on peculiar properties of manganese geochemistry.

69 Naugolnykh S.V.

Paleoecological Palimpsest

Paleontologist in his work resembles a restorer who sifts out a palimpsest record buried in darkness of non-existence, purifying it from the subsequent additions. Similarly a paleontologist restores food chains that interconnected organisms of an ancient ecosystem.

What «Priroda» Wrote About

76 Fedorov E.S.

**The First Steps in Recognition
of Atoms and their Positions
in Crystals**

Blokh Yu.I.

**Realization of Evgraf Fedorov's
Dreams (82)**

85

Science News

How Many Stars Are There in Universe? (85). Precise Measurement of a Cepheid Mass (85). Three-Dimensional Cell Cultures (86). Growing of Intestine Tissues from Skin Cells (86). Resettlement of Dragonflies: Scales and Consequences (87). Cold Tolerance and Areal of Tropical Earthworm (87). Reproduction of Larga in Peter the Great Bay (88). Ferromanganese Formations at Baikal Bottom (88). Rise of Atmospheric CO₂ Concentrations in the Middle of Eocene (89).

Book Reviews

90 Kazantseva A.A.

**Everything That We Did Not Know
about Evolution**

(on book: A.V.Markov. Emergence of Complexity. Evolutionary Biology Today: Unexpected Discoveries and New Problems)

93

New Books

In the End of the Issue

95 Kuzmin A.V.

The Shield of Sobessky

ПУТЬ В ПРЕЗИДЕНТЫ

К 100-летию со дня рождения М.В.Келдыша



«На наших глазах неузнаваемо изменилась жизнь на Земле. Планета как бы стала теснее, меньше. И человечество смогло осознать себя именно как человечество в целом. Это изменение внесено новыми достижениями науки, теми принципиальными вехами в ее развитии, свидетелями которых мы были.

<...> Жизнь чрезвычайно сложна и многообразна. Вместе с тем надо помнить, что все в природе соединено тончайшими связями. И поэтому исследование природы должно идти комплексно, так, чтобы не нарушать этих связей; надо постигать природу, не разрушая ее, а сохраняя и улучшая. Наука вселяет в нас оптимизм».

Эти слова сказаны Мстиславом Всеволодовичем Келдышем, крупнейшим ученым современности, с именем которого связаны яркие достижения отечественной науки и техники, становление новых направлений. Он сыграл выдающую роль в решении задач, имевших государственное значение. Это фундаментальные работы в области прикладной математики, авиационной и космической техники, ракетостроения и создания атомного оружия. Замечательные организаторские способности позволили Мстиславу Всеволодовичу стать выдающимся президентом Академии наук.

Его заслуги были высоко оценены. Он трижды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственных премий, награжден семью орденами Ленина, тремя орденами Трудового Красного Знамени, шестью иностранными орденами и многими медалями. Мстислав Всеволодович был избран иностран-

ным членом 16 академий мира, почетным доктором шести университетов. Ему установлены памятники в Москве и Риге, памятные доски на зданиях, где он жил и работал. Память о нем увековечена в названиях институтов, научно-исследовательского судна, площади в Москве, кратера на Луне и малой планеты Солнечной системы. Академией наук учреждена Золотая медаль имени М.В.Келдыша.

Отмечая 100-летие со дня его рождения, наш журнал публикует хронику его жизни, воспоминания и обзорные статьи продолжателей его дел.

Готова биографическую часть, мы использовали материалы, собранные в книге «М.В.Келдыш. Творческий портрет...» (М., 2002). Кроме того, мы опирались на профессиональную помощь Г.Н.Езеровой, старшего научного сотрудника Мемориального кабинета-музея академика М.В.Келдыша. Большинство публикуемых фотографий также предоставлено этим музеем.

Хроника: 1911—1978

1911 г. 10 февраля (28 января) родился Мстислав Всеволодович Келдыш.

1927 г. Завершив школьное образование, поступает в Московский государственный университет.

1931 г. После окончания МГУ направлен в Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ).

До **1946 г.** работает в ЦАГИ инженером, старшим инженером, начальником группы, начальником отдела динамической прочности.

1935 г. Академик С.А.Чаплыгин переводит Келдыша в группу вибраций ЦАГИ и поручает решить проблему флаттера самолетов. Новые задачи слишком далеки от прежних. Дисциплинированный и ответственный, он работает с полной отдачей.

1934 г. Мстислав Всеволодович совмещает работу в ЦАГИ и Математическом институте им.В.А.Стеклова АН СССР (МИАН). О стремительности научного роста молодого математика красноречиво свидетельствуют даты:

Сентябрь **1934 г.** Поступает в аспирантуру докторантуру МИАН.

1935 г. Присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук, без защиты.

1936 г. Также без защиты присуждена степень кандидата технических наук; получает звание профессора по специальности «аэродинамика».

1938 г. Защита докторской диссертации на тему «О представлении рядами полиномов функций комплексного переменного и гармонических функций».

20 июля **1938 г.** Создан Научно-технический совет ЦАГИ, в него вошел Мстислав Всеволодович; затем он становится членом ученого совета ЦАГИ.

1938 г. Женитьба на Станиславе Валерьяновне. Рождение дочери Светланы.

1939 г. Имя ученого и его работы засекречены — он выполняет государственные задания особой важности.

1941 г. Рождение сына Петра.

1941—1942 гг. Эвакуация семьи и жизнь в Казани. Мстислав Всеволодович мог прилетать в Казань только на несколько дней: работал на авиационных заводах и, как начальник отдела динамической прочности ЦАГИ, курировал проблему вибраций в самолетостроении.

1942 г. М.В.Келдышу (совместно с Е.П.Гроссманом) присуждена Сталинская премия II степени за работы по предупреждению разрушений самолетов: «Расчет самолета на флаттер» (**1940**), «Колебания крыла с упруго прикрепленным мотором» и «Изгибно-элеронный флаттер» (**1941**).

1943 г. Награжден орденом Трудового Красного Знамени за выдающиеся заслуги в области на-



Дом на Николаевской ул. (ныне ул. Кришвяна Вольдемара), где появился младенец Слава Келдыш.

учно-исследовательских работ в авиации (в числе сотрудников ЦАГИ).

30 сентября **1943 г.** Избран членом-корреспондентом АН СССР по Отделению физико-математических наук.

1942—1953 гг. Профессор МГУ. На физико-техническом факультете Мстислав Всеволодович заведовал кафедрой термодинамики и вел курс математической физики, а на механико-математическом — читал лекции и руководил научно-исследовательским семинаром по теории функций комплексного переменного. Многие из его учеников



Храм Благоверного Великого Князя Александра Невского в Риге, в котором его крестили.

стали видными учеными, среди них — академики А.А.Гончар, Д.Е.Охоцимский, Т.М.Энеев, члены-корреспонденты АН К.И.Бабенко и С.Н.Мергелян.

1944 г. В МИАН создан отдел механики, которым с **1944 по 1953 г.** заведовал Келдыш. При отделе начал работать научный семинар, объединивший специалистов по аэродинамике. С этого времени занимается проблемами ракетодинамики и прикладной небесной механики.

1946 г. Сталинская премия II степени за научные исследования в области теории и методов расчета автоколебаний самолетных конструкций. Результаты изложены в монографии «Шимми переднего колеса трехколесного шасси» (**1945**). Математики до сих пор сопровождают эпитетом «красивая» любое упоминание об этой работе. В ней дано решение проблемы и предложены практические инженерные рекомендации.

В тот же период по инициативе физиков-ядерщиков М.В.Келдыша привлекают к расчетам атомного оружия. По мнению директора МИАН академика И.М.Виноградова, «он в любом приложении математики способен разобраться лучше всякого».

1946 г. Избран действительным членом Академии наук по Отделению технических наук. Назначен начальником, а в августе **1950 г.** — научным руководителем НИИ-1 (ныне это Исследовательский центр им.М.В.Келдыша), занимающегося проблемами прикладных задач ракетостроения. С этого времени деятельность Мстислава Всеволодовича связана с ракетной техникой, атомной энергетикой, освоением космоса и вычислительной математикой.

Под его руководством в НИИ-1 проведен широкий комплекс исследований по сверхзвуковой газовой динамике, течению вязкого газа, аэродинамическому нагреву и теплозащите высокоскоростных летательных аппаратов.

1954 г. Назначен научным руководителем всех работ по созданию межконтинентальной крылатой ракеты «Буря».

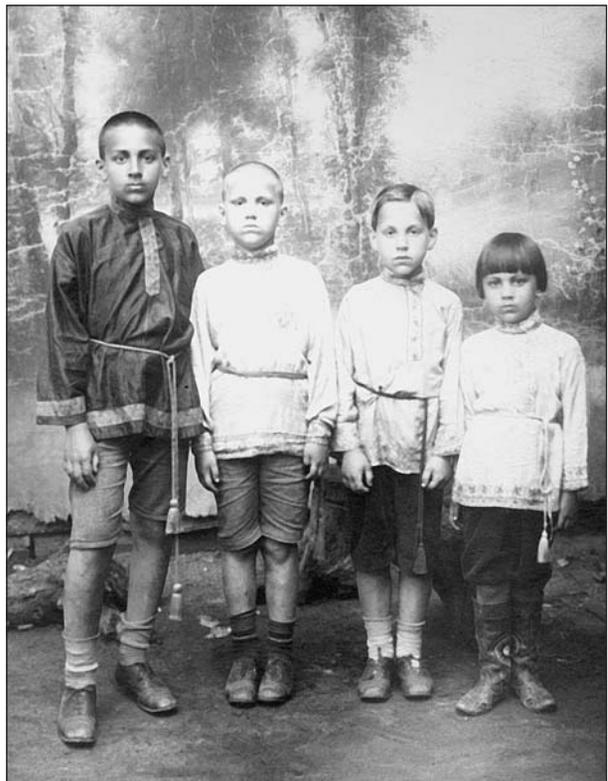
1960 г. 23 марта и 16 декабря ракета совершила успешные плановые полеты по трассе Владимирова—Камчатка.

1955–1956 гг. По инициативе Келдыша начаты поисковые исследования возможностей и путей использования ядерной энергии в ракетных двигателях (ЯРД) и электроядерных двигателях (ЯЭУ). Для этого в НИИ-1 создан отдел и уникальная экспериментальная база для модельных исследований и испытаний элементов ЯРД и ЯЭУ в условиях, близких к натурным. В организацию этих работ Келдыш внес большой личный вклад и всегда держал эти работы в поле своего зрения.

Мстислав Всеволодович руководил большими коллективами, создававшими ракетно-ядерный щит нашей Родины. Во всех прикладных работах потребовались новые методы научных исследований, прежде всего эффективный математический расчет. Их рождение и использование коренным



Родители Мария Александровна (урожденная Скворцова) и Всеволод Михайлович.



Братья: Александр, Михаил, Юрий, Мстислав.



Выпускники физико-математического факультета МГУ. 1931 г.

образом изменили общенаучное значение вычислительной математики.

1953 г. Возглавил вновь созданный Институт прикладной математики АН СССР (до 1966 г. он назывался ОПМ МИАН СССР).

Сотрудник ИПМ, доктор физико-математических наук А.К.Платонов пишет: «Мстислав Всеволо-

дович был тщательно пунктуальным во всех взаимоотношениях с сотрудниками, не позволяя никому забывать о том, что «точность есть вежливость королей». Ровно в 9 утра открывались ворота, и во двор въезжала «Чайка» — можно было проверить часы... Был ли Мстислав Всеволодович «демократическим» директором? Безусловно — нет. Это был очень жесткий и требовательный руководитель с огромным авторитетом. Поэтому его решения не обсуждались, а выполнялись «по-армейски». Вместе с этим атмосфера в институте была полна демократизма».

1954 г. Награжден двумя орденами Ленина: за выслугу лет и за выполнение задания Правительства.

С начала 50-х годов и до последних дней жизни космонавтика — предмет пристального внимания и забот Келдыша.

30 января **1956 г.** Назначен председателем Специальной комиссии при Президиуме АН по искусственному спутнику Земли (объект «Д»), преобразованной в **1960 г.** в Межведомственный научно-технический совет по космическим исследованиям при Академии наук (МНТС по КИ). Келдыша по праву считают **теоретиком космонавтики**. Под его руководством развивались новые направления в исследовании космоса, созданы Институт космических исследований и Институт медико-биологических проблем. При участии Мстислава Всеволодовича обсуждались программы пилотируемых полетов и планетарных исследований, перспективные проекты. Например, он



На даче в Абрамцеве с детьми Светланой и Петром.

выдвинул планы изучения атмосферы Венеры с помощью аэростатных зондов, полета к комете, создания марсохода и возвращения на Землю марсианского грунта, строительства пилотируемых орбитальных комплексов путем наращивания модульных конструкций, запусков астрофизических обсерваторий. Активно работал в Совете главных конструкторов. Способствовал налаживанию научных связей с другими странами в деле исследования космоса и участию наших ученых в международных космических проектах. Создал Совет «Интеркосмос».

Благодаря его работе впоследствии реализованы такие крупные программы, как «Союз—Аполлон», полеты иностранных космонавтов на отечественных орбитальных станциях (программа «ЭПАС») и научные исследования, проведенные на спутниках «Интеркосмос».

Успех прикладных работ был зачастую обусловлен не только глубокой интуицией инженера-механика и экспериментатора, но и выдающимся талантом математика, тонкого теоретика и создателя вычислительных методов. И наоборот, многие фундаментальные математические исследования Мстислава Всеволодовича имеют своим истоком проблемы, возникшие в процессе его работ по механике.

Математические труды Келдыша посвящены теории функций, теории потенциала, дифференциальным уравнениям, функциональному анализу, спектральной теории несамосопряженных операторов. Эта проблематика всегда представляла значительный общематематический интерес. Сейчас все яснее становится то громадное влияние, которое оказывает математическое творчество Келдыша на развитие науки как в нашей стране, так и за рубежом.

1956 г. За исключительные заслуги перед государством при выполнении особого задания Правительства присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и золотой медали «Серп и молот».

1957 г. Удостоен Ленинской премии за выполнение особого задания Правительства.

19 мая **1961 г.** Избран президентом Академии наук СССР. На посту президента (до **1975 г.**) всемерно поддерживал новые направления науки (квантовая электроника и молекулярная биология).

Благодаря своему таланту быстро ориентировался в различных областях науки, продвигал исследования по наиболее актуальным и перспективным направлениям.

1961 г. Награжден орденом Ленина за выдающиеся заслуги в области математики и механики и в связи с 50-летием.

1971 г. За исключительные заслуги перед государством в развитии советской науки и новой техники и в связи с 60-летием в третий раз присвоено звание Героя Социалистического Труда.



С женой Станиславой Валерьевной в новой квартире в высотном доме у Красных ворот. 1952 г.



На Камчатке. 1970 г.

1973 г. Операция на сосудах не позволяла продолжать работу в привычном ритме. 19 мая **1975 г.** отказался от поста президента АН СССР. Последние три года жизни — член Президиума АН и директор ИПМ, председатель Комитета по Ленинским и Государственным премиям.

1978 г. 24 июня скоропостижно скончался. Захоронен в Кремлевской стене. ■

© Составитель **Г.Н.Езерова**
Мемориальный кабинет-музей
академика М.В.Келдыша
Москва

Детство, отрочество, юность

Рассказ младшей сестры, Веры Всеволодовны

Мстислав Всеволодович родился 10 февраля 1911 г. в Риге в семье адъюнкт-профессора Рижского политехнического института Всеволода Михайловича Келдыша и Марии Александровны (урожденной Скворцовой). Согласно «Словарю русских фамилий», фамилия Келдыш «тюркского происхождения: *кельди* (*гельди*) — «он пришел»; *ш* — аффикс ласкательной формы. Но ответ рано признавать окончательным, — пишет автор словаря В.А.Никонов. — Может быть, следует поискать источник в финно-угорских языках...».

Однако в семейных преданиях никаких сведений на этот

счет не сохранилось. Зато известно, что наш прадед Фома Симонович Келдыш происходил из мещанского сословия, был православным и служил псаломщиком в православном Кафедральном Свято-Троицком соборе в Варшаве.

В этом соборе крестили сына псаломщика и нарекли Михаилом. Среднее образование Михаил Келдыш получил в Волинской духовной семинарии, высшее — в Варшавской, а затем в Петербургской медико-хирургических академиях.

Михаил Фомич прослужил около 20 лет военным врачом в Кавказском военном округе. Сначала проводил исследования

«кавказских тропических лихорадок», легшие в основу его диссертации на степень доктора медицины. Позже, в 1873 г., за труды по прекращению в отряде эпидемий цинги и холеры он был награжден орденами Св. Анны 3-й степени и Св. Владимира 4-й степени.

В 1879 г., посетив Закаспийский край в составе Ахалтекинской экспедиции, М.Ф.Келдыш впервые составил его медикотопографическое описание и охарактеризовал санитарные условия располагавшихся там войск. Результаты его работы были опубликованы в «Медицинском сборнике» Кавказского медицинского общества и в «Во-



Мстиславу один год.



Девять лет.

енно-медицинском журнале». За заслуги перед отечеством наш дед был жалован генеральским чином и причислен к дворянскому сословию.

Жена Михаила Фомича, Наталья Николаевна, происходила из дворянского сословия, окончила Смольный институт благородных девиц. Ее девичья фамилия Брусилова, она приходилась двоюродной сестрой генералу А.А.Брусилу, известному по событиям Первой мировой войны (вспомните Брусилловский прорыв).

Наш отец Всеволод Михайлович Келдыш родился во Владикавказе. Гимназию окончил в Одессе, затем учился в Риге, где продолжил образование в Политехническом институте. В Риге состоялась его свадьба (1903) с Марией Александровной Скворцовой.

Мария Александровна родилась в Тифлисе и выросла в дворянской семье. Ее дед (прадед Мстислава), генерал Николай Скворцов, во время Кавказской войны был тяжело ранен, и его оставили на излечение в грузинском доме, где за ним ухаживали мать и дочь. Мать была вдовой, и генерал предложил ей выйти за него замуж. Однако вдова отказалась и посоветовала ему жениться на ее дочери. Так прабабушка попала в Петербург, где ее определили в Смольный институт благородных девиц, чтобы она получила соответствующее воспитание. Потом генерал на ней женился.

Их сын, генерал от инфантерии Александр Николаевич Скворцов, и был отцом матери Мстислава Марии Александровны. Он умер в 1905 г., и мы, дети, его не знали. Жена же его Софья Иосифовна (бабушка Славы по линии мамы) помогала своей дочери растить нас, ее семерых детей. В девичестве Ковзан, она, судя по фамилии, имела польские корни. В родословной Марии Александровны прослеживается другая, романтическая история, похожая на легенду,



Дед Михаил Фомич Келдыш.



Дед Александр Николаевич Скворцов.

согласно которой в род Келдышей попала цыганская кровь.

Около некоего дворянского поместья на Украине, где гостил прапрадед Марии Александровны, молодой врач, остановился цыганский табор. Когда табор ушел, на его месте нашли брошенную больную девочку. Врач вылечил девочку, и она осталась жить в помещицком доме. Когда

девочка выросла, врач на ней женился. Так цыганская кровь влилась в род Келдышей...

Несколько слов о нашем отце Всеволоде Михайловиче, в своем деле очень известном человеке, которого Мстислав очень уважал и мнение которого ценил всю жизнь.

Всеволод Михайлович Келдыш с начала XX в. и вплоть до



С бабушкой Софьей Иосифовной и мамой Марией Александровной. На руках у бабушки — Мстислав, слева — Михаил, справа — Юрий, за спиной — Людмила и Александр.



Старшая сестра Людмила Всеволодовна.

своей кончины в 1965 г. был одним из самых уважаемых инженеров-строителей. Он читал первый в России курс лекций по применению в строительстве железобетонных конструкций. Параллельно с педагогической деятельностью участвовал в проектировании, расчетах и экспертизе многих крупных строек России.

С 1923 г. он преподавал в Высшем инженерно-строительном училище, выделившемся из МВТУ им.Н.Э.Баумана, а с 1932 г. — в переведенной из Ленинграда Военно-инженерной академии, где заведовал сначала кафедрой железобетона, а затем кафедрой строительных конструкций. Кроме того, он постоянно ездил в командировки, был членом государственных приемных комиссий, консультировал большие стройки: дома в Риге, Днепрогэс, Днепровский алюминиевый завод, канал им.Москвы, первые две линии Московского метрополитена, мосты через Москву-реку, через Волгу, здание Казанского вокзала в Москве, Балахнинский

бумажный комбинат и многие другие.

В 1942 г. Всеволоду Михайловичу было присвоено воинское звание генерал-майора инженерных войск. Но по складу характера он был человеком сугубо штатским. Когда отцу выдали оружие, он огорчился и спрятал его подальше. Потом огнестрельное оружие забрали и оставили один кортик, который хранился у нашей сестры Любове Всеволодовны, жившей с отцом до его последних дней.

Воспитанием детей в основном занималась мать, которая целиком посвятила себя семье. Отец часто возвращался с работы в 9-10 вечера. (В сталинские времена заседания различных комиссий продолжались порой и до 12 ночи.)

Моральные устои в семье были твердыми, и тут отец не признавал компромиссов. Азы грамоты дети получали дома и к четырем-пяти годам уже умели читать. В семье была большая библиотека детской и русской классической литературы. Еще до школы все дети знали немецкий язык, в основном устную речь, которую осваивали под руководством учительницы-немки.

В семье все увлекались оперой и концертами классической музыки, дома часто велись разговоры на эти темы и обсуждались новинки. Мария Александровна хорошо играла на рояле, и в молодости родители в свободные вечера часто играли в четыре руки. Конечно, все дети получили некоторое музыкальное образование, однако явные способности к музыке проявлял лишь брат Юрий, на которого мать возлагала особые надежды. Первоначально она мечтала, чтобы он стал пианистом, но у него были маленькие руки. Тогда Мария Александровна стала лелеять мысль о том, чтобы Юрий стал дирижером. Как известно, в итоге Юрий Всеволодович стал историком-музыковедом.

Родители Мстислава Всеволодовича не были религиозны.

Но бабушка Софья Иосифовна, которая жила в семье и в основном занималась воспитанием младшей внучки Веры, была верующей. Она посещала церковь и водила меня с собой, учила молитвам. Однажды одна из знакомых спросила родителей, почему они разрешают бабушке водить их дочку в церковь, на что мать ответила: «Вырастет — сама разберется».

В семье сохраняли иконы, серебряные оклады которых были проданы в тяжелое время в Торгсине, а также по традиции отмечали большие религиозные праздники, в основном Рождество и Пасху. Что касается старших братьев и сестры, при рождении, конечно, крещеных, то в 20-е годы они были ярыми безбожниками. Семья жила близ храма Христа Спасителя, и молодежь ходила туда на пасхальную службу, во время которой пели лучшие силы Большого театра. После крестного хода ребята вваливались в дом, где уже был накрыт большой стол с куличами и горой крашенных яиц и пирамидами сырных пасх. Крашение яиц было обязанностью детей, которыми обычно руководил Мстислав Всеволодович.

Отец содержал большую семью. На его иждивении, помимо семерых детей, жены и тещи, была мать, которая жила отдельно. Мать и теща, как жены бывших царских генералов, пенсий не получали. Все жили на средства отца, который относился к числу высокооплачиваемых специалистов, и материально семья была обеспечена относительно неплохо. (После смерти отца своим родственникам помогал Мстислав.) В возрасте 80 лет отец ушел в отставку, получал генеральскую пенсию и работал консультантом при строительном управлении Госплана. Умер он внезапно в возрасте 87 лет, пережив жену на 8 лет; оба они похоронены на Донском кладбище, где находится фамильный склеп.

Мстислав Всеволодович, пятый по счету (из семерых) ребен-

нок в семье. По внешности и поведению «цыганенок», он из всех братьев был особенно озорным и задиристым.

В школе Славу выделял учитель К.Л.Баев; он сказал родителям: «Из этого мальчика выйдет толк». Из четверых сыновей только младшему Славе нравилась отцовская специальность, поэтому он перешел в школу со строительным уклоном и окончил ее в 1927 г. Но в строительный институт не приняли даже заявления, сказали, что слишком мал — всего 16 лет. Отец очень переживал, но просить за сына не стал, хотя и был профессором этого же института. Тогда старшая сестра Людмила попросила за него в МГУ, и его допустили к вступительным экзаменам. Но через год переходить в строительный отказался — математика завлекла. Отец снова переживал: математика — это не практика! Он и предвидеть не мог, что его сын станет одним из создателей и защитников новой науки — *прикладной математики*.

Надвигались страшные времена репрессий, так или иначе затронувших почти всех членов семьи. В 1935 г. на «черном вороне» увезли на Лубянку Марию Александровну. (В то время в стране проводилась кампания по изъятию у населения золота, в основном золотых монет. Дознанию подвергались крупные специалисты, старая интеллигенция и бывшее кулачество. На первых давление оказывалось в основном через жен, и отец уже знал об этом по рассказам своих сослуживцев.) Спустя несколько дней у Всеволода Михайловича «сдали нервы», и он не смог ходить на работу. Через неделю его по телефону пригласили на Лубянку для очной ставки с женой. Перед уходом из дома он позвал

к себе нашего брата Юрия, отдал ему все золотые вещи, которые были в семье (кольца, броши, мужские часы) и сказал: «Меня вызывают. Если потребуется, отдай все это туда». На Лубянке родителям предложили отдать все, что у них было, но в конце концов сказали: «Эти побрякушки можете оставить себе». Через несколько часов отец с матерью вернулись домой.

С тех пор каждый поздний звонок вызывал в доме страх. В ночь с 6 на 7 ноября 1936 г. «черный ворон» приехал за братом Михаилом, который был аспирантом исторического факультета Московского университета. Он очень увлекался своей специальностью — средневековой историей Германии — и целые ночи напролет занимался. В 1936 г. на истфаке было арестовано около 100 человек, в основном преподавателей и аспирантов, которых обвинили в шпионаже в пользу Германии. Летом 1937 г. на очередной запрос родителей был получен официальный ответ, что их сын осужден на 10 лет без права переписки. По прошествии 10 лет пришло уведомление, что Михаил умер в лагере в 1944 г. В 60-е годы он был посмертно реабилитирован.

Истина выяснилась лишь в конце прошлого века, когда газета «Вечерняя Москва» опубликовала список невинно осужденных и расстрелянных, захороненных в общей могиле №1 на кладбище при Донском монастыре. Так стало известно, что Михаил был расстрелян 29 мая 1937 г.

В 1938 г. наступил черед брата Александра, который более года провел на Лубянке. Александр был осужден как французский шпион, находился в пересыльной камере. Однако в тот

момент на место Ежова назначили Берия; начался пересмотр ряда дел. Обвинение в шпионаже с Александра было снято, но предъявлено новое — в антисемитизме. Состоялся суд, на котором большинство свидетелей, среди которых была его первая жена, еврейка, опровергли предъявленные обвинения, и Александра выпустили на свободу прямо из зала суда.

Из сестер Мстислава Всеволодовича наиболее яркой и сильной личностью была старшая, Людмила (1904—1976). Известный математик, одна из ближайших учениц Н.Н.Лузина, она к 36 годам защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора математических наук, имея к тому времени уже троих детей. Впоследствии у Людмилы Всеволодовны родились еще двое детей. До конца своей жизни, уже будучи тяжелобольной, она работала в Московском университете и в Математическом институте им.В.А.Стеклова АН СССР. Два сына Людмилы Всеволодовны унаследовали выдающиеся способности к точным наукам. Первый сын от первого брака Людмилы Всеволодовны, Леонид Вениаминович Келдыш, — физик-теоретик, академик, член президиума Академии наук, одно время был директором Физического института Академии наук (ФИАН). Младший сын, Сергей Петрович Новиков, — тоже академик, математик, получивший, кажется, все международные премии по математике, какие только существуют.

Единственная из детей, унаследовавшая по настоянию отца его профессию инженера-строителя, — Любовь Всеволодовна. Она до конца жизни родителей жила вместе с ними и ныне является хранительницей архива семьи Келдышей. ■

В ЦАГИ

По воспоминаниям Я.М.Пархомовского и Л.С.Попова

Келдыш любил и умел учиться (это проявлялось и позже, в зрелом возрасте), и, что не менее важно, в ЦАГИ было у кого учиться. ЦАГИ всегда был не только научным центром, но и кузницей научных кадров всей страны, хотя по нынешним меркам это был совсем небольшой институт.

Многое написано о знаменитых семинарах физиков. Гораздо менее известно, что предтечей их были семинары Общетеоретической группы ЦАГИ (ОТГ). Эта группа занималась разнообразными теоретическими проблемами. Ее планы жестко не регламентировались. С нынешней точки зрения, она была группой «вольных стрелков». Здесь обсуждались самые различные аспекты механики сплошной среды — аэрогидродинамики и теории упругости, математические методы решения прикладных задач, вопросы методики научного исследования. В ее заседаниях, довольно регулярных, могли участвовать все желающие. Выступить в ОТГ с докладом считалось большой честью. Возглавлял эту группу научный руководитель ЦАГИ С.А.Чаплыгин. Он придавал семинарам ОТГ тот характер, который до сих пор служит образцом, предметом подражания.

И естественно, что спустя небольшое время Келдыш стал аккуратным посетителем этих семинаров, слушателем и участником. Но дело было не только в одном семинаре и не в одной только теории. Неоценимой заслугой Чаплыгина было еще и следующее. Он — крупнейший ученый-теоретик, отличавшийся аналитическим складом ума, от своего учителя Н.Е.Жуков-

ского воспринял любовь и к прикладным задачам, весьма далеким, казалось бы, от его личных работ. Его отличало то, что называют «инженерное мышление». Вот этот вкус к прикладным задачам он сумел привить своим молодым ученикам-теоретикам, в том числе Келдышу. Довольно быстро определился и круг его интересов, совпадающий с интересами его старших товарищей и учителей (Ф.И.Франкля, М.А.Лаврентьева, Н.Е.Кочина, Л.И.Седова), — вопросы гидродинамики и нестационарной аэродинамики.

...Молодой человек несколько выше среднего роста, худощавый, скорее хрупкого телосложения, очень смуглый, с иссиня черными волосами и живыми темными глазами. Движения порывистые, резкие, при ходьбе выдвигает плечо вперед, как бы раздвигая им воздух. При господствовавшем в то время нигилистическом отношении к своему внешнему виду замечались отсутствие «пузырей» на брюках, до блеска начищенная обувь, галстук и всегда выбритое лицо. В этих «мелочах» виделась основательная выучка. «Мальчик из хорошей семьи».

Друзей среди сверстников мало — тянется к людям старшим по возрасту. Говорит тихо, немногословен, и в обыденной его речи особых красот нет. Если сердится, говорит еще тише, и в речи почему-то появляется заметный «французский прононс». Смена настроений — быстрая, почти мгновенная. Воспитанность видна сразу. Но не производит впечатления книжного, не от мира сего, человека или чистоплюя. Не выносит фа-



В период работы в ЦАГИ. 1935 г.

мильярности и панибратства. Может, что называется, за милую душу «отбрить» собеседника. Но «отбрить» — не синоним «обругать». Применять крепкое словцо М.В. просто не умел. Они у него не получались... Он «отбривал» вежливо и более эффективно. Это у него осталось на всю жизнь...

У М.В. было, наверное, от воспитания идущее повышенное чувство ответственности за порученное ему дело, безотносительно к тому, большое оно или малое. «Стыдно срамиться» — такое присловье слышали мы от него неоднократно. Много позже, кажется в 1939 г., было принято решение, что инженерно-техническим работникам, знающим иностранные языки, зарплата увеличивается на 10%. Следовало сдавать экзамен. Хотя М.В. был уже доктором наук, но в те далекие времена оклады были должностными. С деньга-

ми у имеющего семью Келдыша было не слишком вольготно, и он решил получить эту добавку. С детства М.В. знал французский язык. Объем его знаний, безусловно, намного превосходил тот минимум, который был нужен для получения искомой прибавки. И тем не менее изо дня в день, после работы, в течение двух месяцев он полтора-два часа тратил на чтение и переводы (письменные) французских авиационных журналов.

В процессе ежедневного общения, когда его бросавшаяся сразу в глаза необычайная одаренность и талантливость стали привычными и воспринимаемыми как само собой разумеющееся, стало обычным в разговорах: «Надо это спросить у М.В.» или «Об этом надо с М.В. посоветоваться». Он обычно оправдывал наши ожидания. Его помимо больших знаний отличала также быстрота вникания в вопрос — едва ли не главное свойство Келдыша-ученого.

Позже стали видеться и другие его черты. Известно, что есть односторонне талантливые люди — только талантливые математики, конструкторы и т.д. Келдыш сверх того был еще человеком талантливым и в житейских вопросах, человеком, умеющим в каждом отдельном случае найти подходящий способ общения (а иногда и умолчания), и здесь он на голову превосходил своих сверстников. Он знал себе цену, умел при случае показать свое превосходство, даже быть высокомерным, но никогда не был надутым, важничающим. В своих личных работах делал до конца все сам.

Как-то один из его старших друзей, увидав, что М.В. занимается делом, с его точки зрения, не слишком важным — он раскрывал определитель характеристического уравнения, — снисходительно заметил ему:



В центре дальней космической связи. Рассматриваются панорамы Луны, полученные аппаратом «Луна-3». За столом сидит Мстислав Всеволодович. Февраль 1966 г.

«Слушайте, Келдыш, поручите это сделать ну хотя бы такому-то. Чего самому тратить на это время». — «Не могу, — сказал М.В., — у него свое дело».

Когда кто-нибудь «заносился в гибельные выси», М.В. любил говорить: «Вот что, друзья, а ведь в сущности за нас все Лагранж сделал». Конечно, эти слова — гипербола, но они действовали отрезвляюще. Но командовать он не любил. Предпочитал убеждать: «У нас же наука, а не воинское подразделение». Его авторитету, даже когда ему не было еще и тридцати, можно было поражаться. Иногда одного его присутствия, часто даже молчаливого, было достаточно, чтобы исключить все постороннее, субъективно-личное, что встречается (чего греха таить) и при обсуждении проблем технических, научных. Так было и «внутри», и «вне» ЦАГИ.

В нем сосуществовали две разных стороны характера. Рациональный склад ума как-то уживался с повышенной эмоциональностью. Последнее ярче всего проявлялось в отношении к людям. Общение с крупными учеными не могло не сказаться

на выработке у Келдыша определенного мировоззрения, можно сказать, профессионального. Одно из требований его — бескомпромиссная зыскательность к себе. Примеры такого отношения к делу всегда давала вся обстановка ЦАГИ...

Годы работы в ЦАГИ были годами учения, становления, мужания Мстислава Всеволодовича Келдыша не только как ученого, но еще и как организатора науки. По существу, проблема флаттера, флаттер сделал Келдыша ученым-инженером...

Выступая перед молодежью, он призывал молодых ученых постигать тайны наук, обещая им, что их свежие идеи и вдохновенный труд приведут к новым замечательным открытиям на пользу человечеству. «Продвижение в науке невозможно без преодоления трудностей. Наука требует героизма. Но это как раз то, чего ищет молодость, то, в чем она видит счастье. **Надо видеть в науке силу, которая преобразует мир**», — завещал современным и будущим поколениям гений XX века Мстислав Всеволодович Келдыш... ■

Печать времени

Мемориальный кабинет-музей академика Мстислава Всеволодовича Келдыша представляет читателям «Природы» раритетную публикацию газеты «ЦАГИ» (органа парткома, завкома, администрации и комитета ВЛКСМ) за 7 ноября 1934 г. Выпуск целиком посвящен знаменательной дате.

Под рубрикой **«МНОЖЬТЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПОБЕДЫ!»**: летчики во главе с Героем Советского Союза М.Громовым рапортуют: испытания самолета «Максим Горький» проведены в минимум летных часов, и сейчас **«ОСВАИВАЕМ НОЧНЫЕ И СЛЕПЫЕ ПОЛЕТЫ»**; начальник конструкторского отдела А.Н.Туполев предлагает отчет: **«КОНСТРУКТОРСКИЙ ОТДЕЛ О СВОИХ ПОБЕДАХ»**; **«МОЙ ПУТЬ»** — инженер Евтеев рассказывает, как шел по ступеням образования — от рабфака до Военно-воздушной академии, без отрыва от производства; **«ВСЯ МОЯ СЕМЬЯ УЧИТСЯ И РАБОТАЕТ»**, — сообщает В.Митрофанов, о сдаче техминимума в бригаде 16 рассказывает Кожевников, **«ОКТАБРЬСКОЕ СОРЕВНОВАНИЕ»** подытожил мастер цеха Хохлачев; **«БУДЕМ КРЕПКО ДЕРЖАТЬ КРАСНОЕ ЗНАМЯ ЗАВОДА»**, — обещает группа лучших ударников-кадровиков ЗОК (Завода опытных конструкций), награжденных высокими званиями и наградами.

И здесь же — заметка известного ученого в области теоретической механики, заместителя начальника ЦАГИ, профессора А.И.Некрасова, о молодом Мстиславе Келдыше, которую музей публикует впервые.

Мстислав Всеволодович Келдыш

Еще будучи студентом 4-го курса, М.В.Келдыш начал вести педагогическую работу в качестве преподавателя в вузах Москвы.

В 1932 г. М.В.Келдыш был доцентом по математике при физическом факультете МГУ, позднее являясь докторантом математического института при Академии наук СССР.

В ЦАГИ М.В.Келдыш начал свою работу с 16 июля 1932 г., сначала в качестве инженера, а затем в качестве старшего инженера при экспериментально-аэродинамическом отделе ЦАГИ. В настоящее время М.В.Келдыш работает в физико-аэродинамической секции (ФАС) ЭАО ЦАГИ.

Основные работы М.В.Келдыш посвящены вопросам нестационарной аэродинамики и гидродинамики.

Все научные работы М.В.Келдыш связаны с ЦАГИ, так как тематика этих работ всецело определялась задачами ЦАГИ.

Когда встал вопрос о необходимости изучения явлений удара о воду гидросамолета для ЭГО, М.В.Келдыш были выполнены две работы: 1) О решении задачи об ударе о воду совместно с проф. М.А.Лаврентьевым — сотрудником ОТГ ЦАГИ и 2) Об ударе о воду, имеющую конечную глубину. Обе работы печатаются в «Трудах ЦАГИ».

Большая и интересная работа выполнена М.В.Келдыш под заглавием: «О колебательных движениях крыла».

Работа «Внешняя задача Неймана для нелинейных уравнений эллиптического типа и приложения к теории крыла в сжимаемом газе», выполненная М.В.Келдыш совместно с Ф.И.Франкль, напечатана в «Известиях Академии наук СССР» (№4 за 1934 г.).



В сборнике статей по аэродинамике под редакцией В.А.Александрова, вышедшем в 1933 г., М.В.Келдыш дана интересная обзорная статья о современном состоянии вопроса о неустановившемся движении крыла.

В работе «Обоснование теории винта Н.Е.Жуковского», выполненной совместно с Ф.И.Франкль и доложенной на 2-й Всесоюзной конференции по аэродинамике, авторами показано, что теория Н.Е.Жуковского есть в сущности первая ступень в сходящемся бесконечном процессе последовательных приближений, дающем возможность учесть сжатие струи за винтом.

Последняя работа М.В.Келдыш, выполненная осенью текущего года, — работа по глубокому критическому анализу большой и трудной работы, выполненной ЭАО по теории вибраций крыла, — дает совершенно четкие указания о достоинствах и недостатках выполненной работы и намечает пути, по которым с точки зрения теории надо продолжать исследования.

Все работы и доклады М.В.Келдыш всегда отличаются чрезвычайной четкостью мысли и глубиной математического анализа, умением ясно и полно осветить существенное, и поэтому всегда являются высокоинтересными для читателей и слушателей.

За все время своей работы в ЦАГИ М.В.Келдыш ведет и общественную работу в качестве ответственного СНР, инженерно-технического организатора и редактора стенгазеты секции.

Несомненно, что ЦАГИ в лице М.В.Келдыш имеет молодого и в то же время очень крупного специалиста, способного выполнять ответственные научные поручения.

Профессор **А.И.Некрасов**



Делегация Академии наук СССР во главе с Президентом знакомится с работой киевского завода «Арсенал». 1964 г.



С С.П.Королевым и Г.С.Титовым после возвращения второго космонавта из космического полета. Президиум РАН. 11 августа 1961 г.



С астронавтами США и русскими космонавтами после полета «Аполлон-Союз» у здания Президиума РАН. 1975 г.

Слово об Учителе

Академик М.Я.Маров

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

Время несется стремительно, с годами набирая темп, и особенно остро это осознаешь по круглым датам — и собственным, и тех современников, кого уже больше нет рядом. Такое ощущение я вновь особенно остро испытал в преддверии столетия со дня рождения Мстислава Всеволодовича Келдыша.

Бывают утраты, которые сознание отказывается воспринимать еще много лет после того, как человек ушел из жизни, особенно когда это случается внезапно. Тогда люди, жившие и работавшие рядом с ним, и особенно ученики продолжают жить как бы в атмосфере его влияния, его интеллекта, мысленно сверяя с его мнением свои поступки, собственный жизненный путь. Хотя со времени кончины Мстислава Всеволодовича прошло более 30 лет, горечи и невосполнимости этой утраты по-прежнему созвучны проникновенные слова телеграммы, которой откликнулся в 1946 г. на смерть выдающегося французского ученого-физика Поля Ланжевена Альберт Эйнштейн: «Известие о смерти Поля Ланжевена потрясло меня сильнее, чем многие случившиеся за эти годы разочарования и трагедии. Как мало бывает людей одного поколения, соединивших в себе ясное понимание сущности вещей с острым чувством истинно гуманных требований и умением энергично действовать! Когда такой человек покидает нас, мы ощущаем пустоту, которая кажется невыносимой для тех, кто остается!»

О человеке лучше всего говорят его дела, его «след на Земле». И с этой точки зрения жизнь Келдыша, наполненная выдающимися свершениями, служит замечательным образцом жизни ученого и гражданина. Ее нельзя отделить от эпохи, в которой он жил и создателем которой был сам. Его творческая деятельность была столь обширна и столь многогранна, что поистине достойно удивления, как много он успел сделать в области фундаментальных и прикладных исследований, в становлении и развитии целых направлений современной науки. Он внес огромный вклад в решение фундаментальных проблем математики и механики, в развитие авиационной техники и ядерной энергетики, в создание ракетно-ядерного щита нашей Родины, в становление вычислительной техники и информатики. Сыграл выдающуюся роль в одном из самых дерзновенных

начинаний человеческой цивилизации — изучении и освоении космического пространства, до конца своих дней был руководителем советской космической программы. Велики его заслуги в организации науки, в укреплении Академии наук СССР, президентом которой он был около 15 лет.

Громадный талант

В жизни мне выпала счастливая возможность знать целый ряд выдающихся людей. С ними меня связывали долгие годы общения и плодотворного сотрудничества в решении сложных научно-технических проблем на заре космической эры. У многих из них я многому научился. Но, конечно, самую большую научную и житейскую школу я прошел, тесно общаясь и работая в течение 17 лет под руководством Келдыша, которого называю своим Великим Учителем.

Мстислав Всеволодович был необычайно щедро одарен от природы, а его целеустремленность, работоспособность и полученное блестящее образование в математической школе Н.Н.Лузина, С.А.Чаплыгина, М.А.Лаврентьева позволили ему многократно развить эти уникальные способности. Уже в 20 лет он блестяще окончил физико-математический факультет Московского государственного университета, в возрасте 27 лет защитил докторскую диссертацию, в 32 года был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 35 лет — академиком. В течение почти 20 лет с блеском читал обязательные и специальные курсы по математике в МГУ, руководил аспирантами, регулярно вел семинары. Семинар Келдыша пользовался огромным авторитетом у специалистов и играл важную роль в математической жизни столицы. Многие видные ученые испытали на себе благотворное влияние идей и школы Келдыша.

Удивительным образом он смог применить глубокие теоретические знания к решению целого ряда сугубо практических инженерных проблем, работая сначала в ЦАГИ им.Н.Е.Жуковского, а затем в НИИ-1 — бывшем Ракетном научно-исследовательском институте, названном позднее Научно-исследовательским центром им.М.В.Келдыша, и в созданном им Институте прикладной математики, также носящем ныне его имя. Технические вопросы, наряду с проблемами развития самых актуальных направлений современной науки, неиз-

менно оставались в поле его зрения и тогда, когда он возглавлял Академию наук СССР.

С именем Келдыша по праву связывают решение кардинальных вопросов аэродинамики при создании самолетов нового поколения, преодоление сложнейших проблем флаттера и шимми, непосредственное участие в атомном проекте, основополагающую роль в создании ракетно-космической техники, начале изучения и освоения космического пространства, в создании первых поколений ЭВМ и развитии вычислительной математики. Во всем этом воплотилось исключительное дарование Келдыша, удивительно емкое сочетание его творческого потенциала, интуиции, научного и организаторского таланта. Приходится только удивляться, как все это он успевал совмещать. Конечно, фундаментальной основой была математика, которая позволяла находить определенную общность в конкретных прикладных задачах. Актуальные технические задачи он неизменно считал высокой наукой и на их основе приходил к важным математическим обобщениям.

О математическом даровании Мстислава Всеволодовича в ЦАГИ и НИИ-1 рассказывали буквально легенды, но в основе их лежат реальные факты, которые сохранила память его коллег того периода. Вот лишь несколько примеров.

Работавший вместе с ним в то время будущий профессор МАИ, бывший также долгое время ученым секретарем Комитета по Ленинским и Государственным премиям в области науки и техники при Совете министров СССР, Н.С.Аржанников вспоминал, как на чаплыгинский семинар приехал с докладом известный академик из другого города. Перед началом семинара Келдыш прохаживался около развешенных докладчиком плакатов. У одного из них он задержался, затем подошел к докладчику и сказал, что в математических выкладках есть, по его мнению, ошибка — выписанный в качестве решения ряд расходился. Тот подошел, подумал и начал сворачивать плакаты. Доклад был снят.

Как-то в комнату, где вместе с коллегами — Н.С.Аржанниковым и Я.И.Секерж-Зенковичем — работал недавно пришедший в институт Келдыш, зашел сотрудник из другого подразделения. В разговоре он пожаловался сослуживцам, что вот уже две недели бьется над решением одной задачи — построением так называемого конформного отображения исследуемого профиля крыла на круг. Если попытаться перевести эту специальную терминологию на более простой язык, то речь шла о применении широко используемого в аэродинамике метода расчета профилей крыльев, связанного с преобразованием длин отрезков кривых и ориентации углов между ними. Метод этот достаточно трудоемок, требует не только высокой квалификации, но и умения его применить с наибольшей эффективностью. Так вот, за время, пока сотрудник рассказывал о своих трудностях,



М.Я.Маров и М.В.Келдыш. 1966 г.

Здесь и далее фото из архива автора

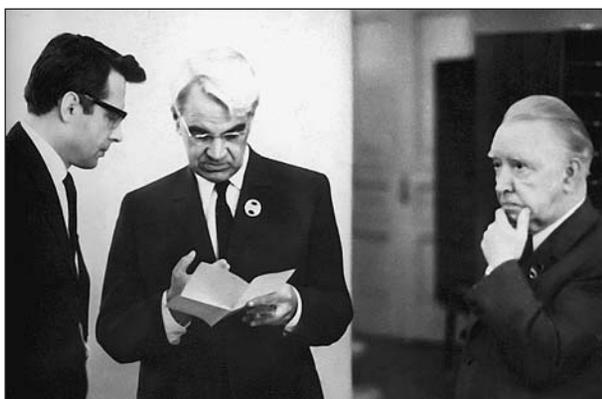
новичок не только успел вывести формулу, обеспечивающую решение задачи, но и созорничать — положить записку с решением тому в карман. Мстислав Всеволодович настолько блестяще владел этим методом, что, по единодушному мнению коллег, был способен за одну ночь найти с его помощью решение соответствующей задачи даже для очень сложного случая.

Известно, как, сидя на семинаре теоретической группы и слушая доклад о том, что известная теорема Чаплыгина о так называемых метацентрах крыла моноплана справедлива также и для биплана, он нашел доказательство самого общего варианта этой теоремы. Доказательство обобщения теоремы на полиплан, т.е. на самолет не только с одним или двумя, но с любым числом крыльев, он привел, выйдя к доске, на том же семинаре.

Личность Келдыша окружал полумифический ореол и в НИИ-1, который он возглавил в первые послевоенные годы, занимаясь созданием образцов новой техники. Приведу выдержку из статьи бывшего сотрудника этого НИИ, ставшего позднее научным обозревателем «Комсомольской правды», Ярослава Голованова: «В 1956 году совсем зеленым инженером работал я в одном НИИ, научным руководителем которого по совместительству был Келдыш. Среди молодежи о нем ходили легенды. Всерьез говорили о том, что не существует такой математической задачи, которую он не смог бы решить, если она верно сформулирована. Однажды Келдыш дал десять дней одной из лабораторий на проведение неких расчетов. В конце срока смущенный руководитель лаборатории признался, что работа не выполнена, поскольку очень трудно сформулировать задание для ЭВМ. Келдыш поморщился, взял коробку «Казбека», перевернул тыльной светлой стороной, покрутил в руках карандаш и быстро написал на коробке формулу. «Мне кажется, что теперь это сможет сосчитать даже кошка», — сказал он, протягивая коробку оторопевшему завлабу.

Я присутствовал на защите одной докторской диссертации. Келдыш председательствовал. Он сидел за столом, посасывая леденцы из плоской железной коробочки: отучался от табака. Выражение лица было отсутствующим, я был уверен, что докладчика-соискателя он не слушает. Отвечая на вопросы, докладчик вдруг споткнулся на одном из них, как говорится, “поплыл”: попробовал что-то путано объяснить и, наконец, замолчал. Келдыш встал и, подойдя к развешанным таблицам, сказал своим тихим, мягким голосом, чуть растягивая слова: “Ну, это же так просто, вот взгляните...” — и начал объяснять. Я подумал: соискатель изучал этот вопрос годы, Келдыш — минуты».

Его блестящий талант математика проявился в умении, с одной стороны, выбрать наиболее простую и вместе с тем строгую модель для описания, казалось бы, крайне сложного физического явления, а с другой — находить в конкретной прикладной задаче лежащую в ее основе общую математическую теорию. Прежде всего он грамотно ставил задачу, умело выделяя важнейшие, определяющие факторы, оценивая, чем можно пренебречь, — ведь только при наличии обоснованных ограничений, другими словами, при ограниченной модельной постановке задачи обычно можно рассчитывать на успех. Одновременно здесь проявлялась его инженерная интуиция. Именно так им были найдены решения проблем флаттера и шимми, сдерживавшие развитие скоростной авиации в стране и мире. Обращаясь как-то к студентам, академик Георгий Иванович Петров, хорошо лично знавший Мстислава Всеволодовича еще с периода совместной работы в ЦАГИ, писал: «Советую вам, молодым людям, разыскать работу М.В.Келдыша “О шимми переднего колеса”... Советую прочитать эту работу независимо от специальности, потому что она по-настоящему красивая. Вы знаете, в науке есть красота. Есть тяжелые и нудные решения, а вот это было настолько красиво сделано! Отброшено все, что может мешать, и соответственно доведено до решения».



М.Я.Маров с академиками М.В.Келдышем и А.П.Виноградовым. 1970 г.

С разработкой вычислительных приемов и методов, как правило, была одновременно связана необходимость развития теории. Лучшие работы Келдыша этого чрезвычайно плодотворного периода его деятельности можно по праву считать замечательными примерами всестороннего анализа сложных явлений, образцами завершенных инженерных исследований, позволивших не только понять суть этих явлений, но и выдать конкретные рекомендации, найти инженерное решение проблем. В этих исследованиях получили дальнейшее развитие и многие чисто математические вопросы в таких областях, как теория функций комплексного переменного, уравнения в частных производных, функциональный анализ. С именем Келдыша связывают создание современной теории приближений функций в комплексной области, решение ряда сложных проблем из теории потенциала и теории краевых задач для гармонических функций, развитие теории дифференциальных уравнений эллиптического типа, имеющих ряд особенностей (как говорят, вырождающихся) на границе рассматриваемой области. К этим уравнениям Мстислава Всеволодовича привели задачи изучения течения газа при скоростях, при которых происходит переход через скорость звука. При изучении колебаний авиационных конструкций он столкнулся с фундаментальными вопросами так называемой теории несопряженных операторов. Здесь ему удалось найти решение проблем, над которыми в течение ряда лет бились многие выдающиеся математики. Доказанные им теоремы, разработанные оригинальные методы, носящие его имя, вошли в золотой фонд математики, стали классическими. «Научный труд — это не мертвая схема, а луч света для практиков» — этому завету Чаплыгина Келдыш следовал всю свою жизнь.

Его исключительной способностью было умение найти ключевые моменты в самой что ни на есть запутанной проблеме, проникнуть в суть явления и предложить оригинальное решение. Широчайший кругозор помогал ему быстро разбираться в вопросах, которые, на первый взгляд, были далеки от его профессиональных знаний. А что говорить о тех областях, которые ему были близки и где он схватывал все новое буквально на лету. Свидетелем таких ситуаций мне не раз доводилось бывать, например, присутствуя на заседаниях руководимого им семинара в Институте прикладной математики. Сидя всегда на одном и том же месте, подперев рукой голову, он, казалось, дремал, лишь изредка бросая взгляд на доску, испещренную математическими выкладками, но удивительно точными, цепкими вопросами уточнял формулировку, постановку задачи. Если что-то не договаривалось докладчиком, первым замечал неточность или ошибку в рассуждениях, требовал определенности выводов. Неизменно стимулировал дискуссии, которые зачастую бывали весьма острыми, исключи-

тельно четко и ясно подводил итог обсуждения. По собственному опыту знаю, сколь ответственным было не только выступление на семинаре, но и участие в дискуссии.

Сейчас уже, пожалуй, никому не надо доказывать, какую роль играют математические модели, вычислительные эксперименты в развитии науки, сколь важно широкомасштабное внедрение ЭВМ в научные исследования, в производство. Привычным стал термин «информатика», объединяющий процедуры накопления, хранения, передачи и обработки информации. Неизмеримо возрос и продолжает расти уровень сложности моделей, на примере исследования которых удастся глубже проникать в существо сложных явлений, причем таких, где либо прямой физический эксперимент требует колоссальных материальных затрат и продолжительного времени, либо результат может быть непредсказуемо опасен, либо, наконец, когда натурное моделирование попросту невозможно (как это было вначале с атомной проблемой). Сейчас в качестве таких ярких примеров можно назвать задачи астрофизики — взрывы сверхновых звезд, происхождение и эволюция Солнечной системы, соударение астероида с другим небесным телом и т.д. «Математическое проектирование» в технике позволяет наиболее просто выбрать оптимальный вариант конструкции или процесса, к тому же значительно экономить время и средства.

Однако это было далеко не так на начальных этапах становления прикладной (вычислительной) математики. Основополагающие исследования в этом направлении, начатые по инициативе Келдыша, обеспечили высокий научный потенциал работ по программированию в СССР. Мстислав Всеволодович не раз подчеркивал, что искусные методы, оригинальные подходы к составлению программ позволяют существенно скомпенсировать недостаточно высокую производительность (быстродействие, объем оперативной памяти) ЭВМ, в чем наша техника, особенно на первых порах, значительно уступала зарубежной. Это не ослабляло, однако, требований, которые предъявлялись в отношении вычислительных средств к их разработчикам, к промышленности, и в формулировании этих требований мнение Келдыша было наиболее авторитетным, во многих отношениях определяющим.

«Математика, являющаяся самой древней из всех наук, — говорил много позже Келдыш в своей речи на Международном конгрессе математиков в 1966 г., — вместе с тем остается вечно молодой, бурно развивающейся наукой, все время расширяющей области своего познания, все шире развивающей свои связи не только с естественными науками, но и с самыми разнообразными областями человеческой деятельности. Я думаю, что ценность математических теорий тем выше, чем теснее их корни связаны с явлениями мира, в кото-

ром мы живем, и вместе с тем, чем выше мы постигаем степени абстракции и общности точек зрения... Ценность теории определяется тем, насколько общие положения позволяют понимать конкретные явления и решать конкретные задачи. Общие математические теории позволяют нам глубоко понять взаимосвязи явлений. Внедрение математических методов преобразует области знания и не только ставит их на высшую ступень логического мышления, но и открывает новые возможности, новые постановки задач, позволяет по-новому смотреть на явления. Достаточно вспомнить, какие революционные, принципиальные сдвиги в развитии естествознания дали анализ бесконечно малых, теории вероятностей, теории операторов и, наконец, в настоящее время бурно развивающееся познание логических процессов».

Блистательные достижения Келдыша в предвоенные и военные годы были только прелюдией выдающихся свершений человеческого гения, с которыми тесно связано его имя. Это атомная и космическая проблемы, в решении которых краеугольным камнем стало развитие методов и средств вычислительной математики. Бывший директор Математического института им.В.А.Стеклова академик И.М.Виноградов вспоминал: «Вскоре после войны пришли ко мне Ю.Б.Харитон и другие физики. Просили порекомендовать математику, который мог бы поставить расчеты по атомной проблеме. Я им назвал Келдыша, он в любом приложении математики способен разобраться лучше всякого...»

Атомную проблему нашей стране приходилось решать в тяжелейших послевоенных условиях, причем в минимальные сроки, чтобы положить конец шантажу американцев, располагавших к тому времени этим чудовищным оружием и успевших уже дважды демонстративно применить его при бомбардировке японских городов Хиросимы и Нагасаки. На многочисленных базах, развернутых вблизи границ СССР, стояли американские бомбардировщики, оснащенные атомными бомбами и готовые нанести по нашим городам удар фантастической разрушительной силы. Медлить было нельзя. Потребовался самоотверженный труд ученых, инженеров, напряжение усилий многих отраслей промышленности. Потребовались высокоэффективные методы исследований, среди которых ведущую роль приобрели принципиально новые подходы в решении сложнейших задач.

В решение атомной проблемы, задачи овладения ядерной энергией и ее использования в мирных целях Келдыш внес поистине огромный вклад. За невиданно короткий срок была нарушена монополия США в обладании атомной бомбой, мы опередили американцев в создании новых образцов термоядерного оружия. Этот успех стал возможен благодаря широкому использованию методов математического моделирования. Благодаря

такому прогрессивному подходу удалось произвести выбор оптимального варианта решения физических задач, значительно повысить темпы создания конструкций. Готовых рецептов не было, приходилось идти нехоженными путями, требовались новые идеи и подходы. Мстислав Всеволодович руководил разработкой численных методов решения многомерных задач газовой динамики и математической физики, в первую очередь связанных с изучением таких физических явлений, как диффузия, теплопроводность, вязкость, химические реакции. Созданные им лично и при его непосредственном участии приемы и способы решения этих задач для нужд атомной техники, развитые в дальнейшем его учениками и коллегами, заложили основы современной вычислительной физики.

Устремленный в космос

Но, пожалуй, особую связь с именем Келдыша имеют космические исследования. Неслучайно в условиях тотальной секретности его называли Главным теоретиком космонавтики, а Королева — Главным конструктором. Ими было положено начало историческому этапу выхода человечества за ограниченную сферу обитания на собственной планете, ознаменовавшееся запуском первого в мире искусственного спутника Земли, первым полетом человека в космос, началом систематического изучения нашего ближайшего космического окружения — Солнечной системы, бурным прогрессом астрофизики и широким спектром прикладных исследований.

Свыше 20 лет Келдыш руководил в СССР научными исследованиями космического пространства. Мстислав Всеволодович был настоящим лидером и идеологом этого направления. Он постоянно заботился о том, чтобы программы экспериментов отвечали задаче проведения наиболее актуальных исследований, уделял много внимания вопросам разработки новых и модернизации существующих ракетных комплексов, совершенствованию ракетных двигателей, созданию современных средств управления и измерений, непрерывному повышению общей надежности космических систем и эффективности научных исследований. Можно без преувеличения сказать, что наши выдающиеся научные результаты двух первых десятилетий космической эры были достигнуты во многом благодаря Келдышу.

Мстислав Всеволодович был всецело предан идее освоения космоса. В подготовку и осуществление разнообразных космических программ он вкладывал не только свой громадный интеллект, но и частицу души. Вспоминая как-то период начала—середины 50-х годов, которые он называл прологом к первому спутнику, Мстислав Всеволодович заметил: «...мы были молоды, и даже космос не страшил нас».

В 1956 г. он был назначен председателем Комиссии по объекту «Д» — тогда под этим названием понимался тяжелый спутник. С докладной запиской «Об искусственном спутнике Земли» он вместе с М.К.Тихонравовым и С.П.Королевым обратился в правительство чуть раньше, хотя у Королева еще не завершилась отработка ракеты Р-7, способной вывести такой спутник на околоземную орбиту. Вместе с тем, уже тогда Мстислав Всеволодович собирал ведущих ученых страны, чтобы обсудить с ними перспективы первых физических измерений в космосе с целью понять, что же представляет собой окружающее нас пространство. А в 1958 г. решением ЦК КПСС и Совета министров СССР Келдыш был назначен председателем Межведомственного совета по космическим исследованиям при Академии наук СССР (МНТС по КИ), который был наиболее авторитетным органом по планированию и проведению научных и прикладных исследований космоса, разработке и осуществлению космических проектов. С середины 1960-х гг. я был ученым секретарем Совета и, естественно, очень тесно общался с Мстиславом Всеволодовичем, как по делам МНТС, так и как заведующий отделом возглавляемого им института.

Три важнейших фактора определяли деятельность Келдыша как председателя МНТС по КИ: глубокое понимание научных и технических проблем, которые непрерывно возникали при освоении космоса и требовали принятия решений; искренняя увлеченность и преданность данному направлению деятельности в сочетании с чувством огромной ответственности перед страной; и, наконец, способность быть настоящим лидером — не по положению, а по призванию и одновременно по признанию коллег и громадных творческих коллективов, привлеченных к космической деятельности. К нему обращались за советом главные конструкторы направлений, руководители НИИ и КБ, крупные ученые. Когда возникали сложные проблемы, казавшиеся неразрешимыми, тупиковыми, они говорили: «Надо пойти посоветоваться к Мудрому».

В конференц-зале Института прикладной математики на протяжении многих лет проходили заседания Межведомственного совета, собиравшие весь цвет ракетно-космической отрасли. Здесь обсуждались и решались наиболее принципиальные, самые кардинальные вопросы. Мстислав Всеволодович неизменно был лидером этих обсуждений. Подробно рассматривались проекты автоматических космических аппаратов, пилотируемых кораблей, орбитальных станций. Большое внимание уделялось вопросам адаптации человека в невесомости, включавшим в себя возможности создания искусственной силы тяжести и варианты их практической реализации, в контексте будущих пилотируемых полетов к планетам Солнечной системы. Рассматривались вопросы разработки ракетных двигателей с использованием нетрадицион-

ных топлив для перспективных ракет-носителей, ядерных и электрореактивных двигателей. Обсуждались вопросы международного сотрудничества.

При формировании программ исследований на космических аппаратах Келдыш всегда находил время собрать у себя специалистов — ученых, авторов предлагаемых экспериментов. Обычно такие программы предварительно рассматривались на тематических секциях, и на этой основе готовились предложения по составу научной аппаратуры. Мне хотелось бы особо отметить демократизм этих обсуждений, поскольку обычно приглашались и те ученые, чьи эксперименты не были одобрены на предварительной стадии. Не боясь острых дискуссий, Келдыш предоставлял возможность высказаться всем участникам, чтобы разобраться, насколько правильно был сделан предварительный отбор, и принять окончательное решение.

Особый интерес у Мстислава Всеволодовича вызывали исследования дальнего космоса, и это было не случайным. Здесь он был мечтателем, но, в отличие от К.Э. Циолковского, имел счастливую возможность воплощать многие мечты в жизнь. Он глубоко верил, что космос станет уделом человечества, это было его философской позицией. В своем докладе на Международном астронавтическом конгрессе в Баку в 1972 г. он говорил: «Можно с уверенностью сказать, что человечество придет к межпланетным полетам. И точно так же, как много лет назад нельзя было предсказать, что именно найдет человечество на новых континентах, нельзя заранее предсказать, что оно найдет на планетах. Может быть, через много лет тем, кто полетит на другие планеты, современные космические ракеты будут казаться столь же примитивными и несовершенными, какими нам кажутся древние пироги, на которых первые отважные мореплаватели переплывали океан. Ведь мы находимся только в самом начале пути за пределы Земли. Предстоит еще решить много сложных технических вопросов. Но этот процесс начался, его темпы стремительно нарастают, и нет сомнения в том, что пророческие слова Циолковского о завоевании всего околосолнечного пространства станут уделом человечества грядущего столетия».

Роль Келдыша-организатора, умеющего видеть перспективу, заслуживает самой высокой оценки, и этот его выдающийся талант обеспечил как наши прошлые достижения, так и задел на многие десятилетия. Упомяну лишь о двух моментах.

Первый связан с ролью Мстислава Всеволодовича в переводе из КБ Королева лунно-планетной тематики (разумеется, с согласия Королева, обладавшего, как и Келдыш, государственным мышлением) в организацию, созданную на базе КБ С.А.Лавочкина и завода №301, которую возглавил талантливый главный конструктор Г.Н.Бабакин. Келдыш пророчески увидел, что именно эту авиационную фирму, вместе с которой он работал над



М.Я.Маров, В.А.Шаталов, М.В.Келдыш. МГУ им.М.В.Ломоносова, 1969 г.

проектом беспилотного самолета-носителя ядерного оружия «Буря», обладавшую великолепным опытом создания и отработки сложных изделий, нужно нацелить на такое важное направление. И жизнь показала, сколь правильным было данное решение. До того у нас была серия неудачных попыток осуществить мягкую посадку на Луну с использованием лунной автоматической посадочной ступени по программе «Е6». Но уже в 1966 г., т.е. спустя всего лишь год после передачи документации от Королева в КБ Бабакина, задача осуществления первой мягкой посадки на Луну была успешно решена, и станция «Луна-9» передала на Землю первую уникальную панораму лунной поверхности, измерила ее характеристики. Почти одновременно с этим были запущены первые искусственные спутники Луны. Создание нового поколения лунных автоматических аппаратов позволило нам хоть в какой-то мере конкурировать с американцами в «лунной» гонке, поскольку в 1970 г. мы смогли запустить станцию «Луна-16», которая автоматически забрала грунт с лунной поверхности и доставила его на Землю, а «Луна-20» и «Луна-24» повторили этот эксперимент. Помимо этого были созданы самодвижущиеся аппараты «Луноход».

В качестве второго момента необходимо отметить создание ракеты УР-500, или «Протон», в КБ главного конструктора В.Н.Челомея. На фоне эйфории 1964—1966 гг., когда мы были уверены в создании в ближайшее время тяжелой ракеты Н-1 грузоподъемностью порядка 100 т для полетов на Луну, предложение Челомея о создании ракеты УР-500 грузоподъемностью «всего лишь» в 20 т казалось бесперспективным и ненужным. Но Мстислав Всеволодович, несмотря на отрицательные решения ряда комиссий, носившие, к сожалению, субъективный оттенок, пророчески увидел, сколь важно иметь такую ракету. Действительно, именно благодаря «Протону» стало возможным выводить на орбиту первые орбитальные станции, создать орбитальный комплекс «Мир»



Пресс-конференция, посвященная успешному завершению полета АМС «Луна 16». МГУ им.М.В.Ломоносова, 1970 г.

с его несколькими целевыми модулями, осуществить полеты космических аппаратов нового поколения к Венере и Марсу, собрать на околоземной орбите Международную космическую станцию. Другими словами, сейчас даже трудно себе представить, что было бы с нашей космонавтикой, если бы эта ракета-носитель не была в свое время твердо и решительно защищена Келдышем.

К тому же ракету Н-1 создать не удалось, как и соответствующий лунный комплекс Н1-Л3 для высадки человека на Луну, и Мстислав Всеволодович это тяжело переживал. Я хорошо помню, как по прошествии времени, в 1974 г., он долго и мучительно колебался, подписывать ли решение о прекращении работ по программе Н-1 после трех неудачных запусков.

Келдыша отличало не только глубочайшее понимание всего комплекса проблем, связанных с изучением и освоением космоса, и стремление познать новое, но и высочайшая ответственность перед страной, что определяло его гражданскую позицию. Он руководствовался исключительно интересами дела, был свободен от каких-либо конъюнктурных соображений, что снискало ему заслуженное уважение и громадный авторитет. Мне доводилось бывать с ним на совещаниях у Д.Ф.Устинова, в то время секретаря ЦК КПСС по оборонной тематике, где присутствовали ведущие ученые и специалисты, руководители ракетно-

космических и других отраслей промышленности. Атмосфера нередко накалялась, особенно если обсуждались сложные проблемы и аварийные ситуации. В этих случаях Дмитрий Федорович обычно обращался к Мстиславу Всеволодовичу со словами: «А Вы что по этому поводу думаете?» И неизменно к его неторопливому негромкому голосу, обстоятельному и бескорыстному анализу проблемы присутствовавшие прислушивались с особым вниманием, а основные положения его выступлений или замечаний часто ложились в основу принимаемых решений.

Келдыш глубоко верил, что полеты в космос станут одним из величайших устремлений нашей цивилизации. «Человечество вступило в новую эпоху овладения сокровенными тайнами природы, скрытыми в глубинах космоса, — говорил он в одном из своих выступлений. — Новые явления, которые мы встретим на других планетах, будут использованы для улучшения жизни на Земле...» Такова была его жизненная позиция ученого и гражданина, заботящегося о судьбе нашей планеты.

Творческое содружество двух выдающихся людей — Келдыша и Королева — обеспечило наш триумф в космических исследованиях первых десятилетий. Убежден, что их уход из жизни привел к утрате нами этой лидирующей роли в последующий период.

Величие и обаяние личности

Работать с Мстиславом Всеволодовичем было не просто, но неизменно интересно. Он относился с высокой требовательностью к себе и другим, не терпел неконкретных высказываний, пустословия и очковтирательства. Его отличала безграничная преданность науке, честность в делах и поступках, ответственное отношение к порученному делу, сочетание целеустремленности и таланта исследователя с удивительной работоспособностью. Он поражал глубиной мышления, широтой взглядов, органично сочетавшихся с огромной эрудицией и величайшим талантом организатора. Умел быстро разобраться в сущности обсуждаемых проблем, найти главное звено, отбросив все второстепенное, неважное. Природа поистине не покупила, отпустив все это одному человеку. Эти его замечательные качества, неизменный энтузиазм и подкрепленная тщательным анализом вера в успех смелых проектов и дерзновенных мечтаний всегда привлекали к нему ученых и специалистов самых разных научных направлений, которых он умел сплотить единством цели. Он не боялся принимать ответственные решения, умело и решительно отстаивал свою позицию на всех уровнях, включая высшие эшелоны власти.

В решении принципиальных вопросов Келдыш был бескомпромиссен. Готовность открыто и честно обсудить любой вопрос питала то огромное уважение, которое испытывали к нему самые разные люди — и те, кому посчастливилось с ним встречаться и работать, и сотрудники многотысячных коллективов научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций страны. Он пользовался громадным авторитетом не только среди своих единомышленников, но и у руководства страны, что позволяло ему преодолевать различные бюрократические барьеры. Нужна была смелость, чтобы убежденно отстаивать свою позицию, свое видение проблемы, бороться с тем, что мешает развитию науки, предавать забвению единственно правильный критерий — научно обоснованную и проверенную практикой истину. Такие качества были характерны и для стиля его руководства на посту президента Академии наук СССР. Достаточно вспомнить, что именно благодаря усилиям Келдыша, его непредвзятости и смелости восторжествовала, наконец, длительное время попиравшаяся истина в биологии, была развенчана лысенковщина, «реабилитирована» кибернетика.

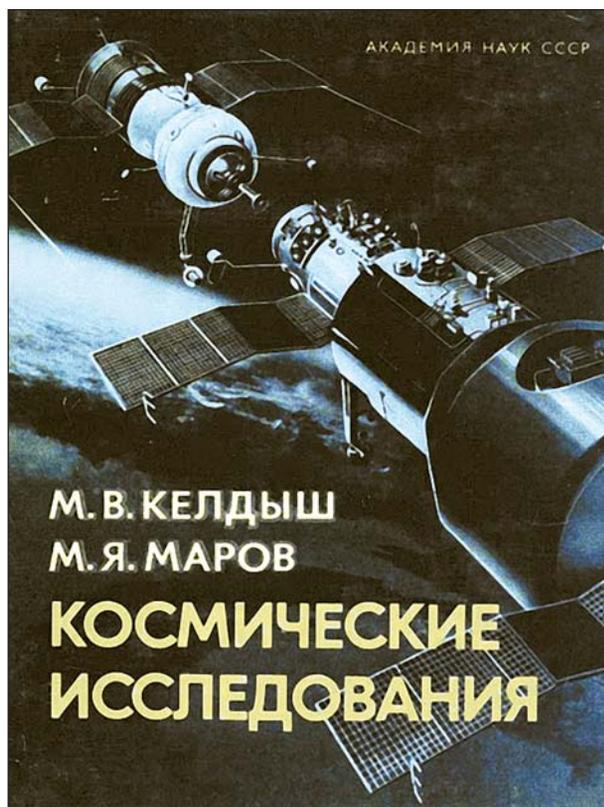
Удивительно, как при такой занятости он все успевал, откликаясь даже на просьбы кому-то позволить, дабы поддержать то или иное начинание или ускорить решение вопроса, снять разногласия. Коллеги выказывали Келдышу свое уважение не только как к выдающемуся ученому, но и как к человеку, который принес себя, свои научные инте-

ресы в жертву интересам организации науки в стране. Иногда, зайдя в его кабинет, я замечал разложенные на столе листочки, испещренные математическими выкладками, но это были занятия урывками — на большее не оставалось времени...

Для стиля работы Келдыша характерен такой эпизод. Посещение им научных центров Украины в 1970 г. совпало со временем, когда наш автоматический космический аппарат «Венера-7» подлетал к Венере. Сеансы связи с ним Мстислав Всеволодович, конечно, пропустить не мог. Две ночи подряд он работал в Центре дальней космической связи в Крыму, но при этом не прерывал и даже не снижал темпа дневной работы в научных учреждениях. Вечером улетал в Центр, а утром возвращался обратно. Мне довелось быть как раз в тот период в Центре дальней космической связи и как научному руководителю программы докладывать Мстиславу Всеволодовичу о первых результатах исследований Венеры. Вместе с ним приезжали академики А.П.Виноградов и Б.Е.Патон. Это были крайне напряженные, но вместе с тем интереснейшие дни, а внимание к ответственному космическому эксперименту самого Келдыша прибавляло уверенности и энтузиазма его участникам. Уверенности, а не нервозности, как это, к сожалению, бывает, когда приезжает высокое начальство. Келдыш вникал и, если надо, помогал, но никогда не



Вручение М.В.Келдышу диплома Ю.А.Гагарина и медали С.П.Королева Федерации космонавтики СССР, 1976 г.



Обложка книги «Космические исследования» (М., 1981).

вмешивался в то, что каждый должен делать на своем рабочем месте, а в трудных, нестандартных ситуациях прежде всего прислушивался к мнению специалистов. Личным примером человека высочайшего авторитета он показывал, что никакой руководитель не способен знать дело лучше непосредственного исполнителя. Эту свою жизненную позицию он выражал известной фразой: «Даже Станиславский не мог играть все роли».

Мстислав Всеволодович был внешне суровым, но всегда деликатным и внутренне, в общем-то, мягким человеком. Очень приветлив и как-то по-особому доброжелателен он бывал в домашней обстановке, в которой мне не раз доводилось обсуждать с ним разные вопросы, особенно когда он бывал нездоров. В короткие часы досуга любил послушать любимую музыку (Бетховена, Рахманинова, Грига), полистать альбомы с репродукциями картин любимых художников. Его высочайшая духовность, воспитанная семьей с детских лет, сохранилась на всю жизнь.

Он не раз поражал многих людей из его ближайшего окружения удивительно емкими знаниями произведений живописи, искусства, о чем мог и любил рассказывать, делая это ненавязчиво, как

бы походя, но практически профессионально. Его суждения отличались тонкостью наблюдений, глубоким пониманием индивидуальности художника и восприятия им окружающего мира, умением выделить наиболее существенное в цвете, характерную концепцию жанровой линии. Великолепно знал он произведения ведущих представителей французской школы импрессионизма, помнил, в каких крупнейших музеях хранятся те или иные полотна. Меня он поразил, когда, вернувшись из США и рассказывая о результатах участия в международной конференции и посещении научных центров, я поделился также впечатлениями от увиденного в Национальной художественной галерее в Вашингтоне. Мстислав Всеволодович увлеченно стал говорить о хранящихся там шедеврах Тинторетто, Тициана, Коро, причем помнил даже то, из собраний каких частных коллекций (Дейла, Кресса, Виденера или Меллона) были любимые им произведения.

Об интересном эпизоде вспоминает академик И. М. Макаров: «Помню, во время визита в Италию, после посещения научных учреждений, нас провели по нескольким картинным галереям Милана. Мстислав Всеволодович с любопытством рассматривал интересные коллекции — он был в Италии впервые. Его спросили, что он хотел бы еще увидеть. Келдыш сказал: «В Милане, у госпожи такой-то, есть лучшее частное собрание в Италии картин Боттичелли». Сопровождающие нас итальянские ученые, в том числе и искусствоведы, ничего не слышали об этой коллекции. Гид бросился звонить в музей. Каково же было удивление итальянцев, когда выяснилось, что такая коллекция действительно существует и владелица не возражает против визита советских ученых... Даже в своем увлечении живописью Келдыш был профессионалом».

Он свободно говорил по-немецки и по-французски, а лет в 50 выучил английский, на котором так же легко изъяснялся, хотя специальные английские и американские журналы читал и до этого. Вслед за тем учил итальянский язык, потом испанский. Развитие способностей в овладении иностранными языками, само желание их изучать и знать, как и любовь к искусству, закладывались в семье Келдышей уже в детстве.

Его отношение к жизни, к науке, я воспринял навсегда, а память о нем и о работе с ним сохраняю как драгоценное наследие. Более того, с его взглядами, жизненной философией всегда сверял и продолжаю сверять свои дела и поступки. Поистине бесценным и уникальным достоянием является для меня написанная совместно с Келдышем книга «Космические исследования», выпущенная Издательством «Наука». ■

Могучий сплав теории и практики

Академик А.С.Коротеев
А.А.Гафаров,
кандидат технических наук
ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша»
Москва

Самые блестящие приоритетные достижения отечественной ракетно-космической науки и техники — запуск первого в мире искусственного спутника Земли, первый космический полет человека, полеты автоматических станций к Луне и планетам Солнечной системы — неразрывно связаны с именем и деятельностью Мстислава Всеволодовича Келдыша. Постараемся конспективно рассказать о его роли в решении практических задач ракетной и космической техники.

Мощный старт

Приходу М.В.Келдыша в ракетно-космическую отрасль предшествовал 15-летний период его исключительно плодотворной работы в авиации. В 1931 г., окончив в 20-летнем возрасте физико-математическое отделение МГУ, он получил направление в знаменитый научный авиационный центр ЦАГИ. Здесь в широко известных ныне работах по флаттеру и шимми носового колеса самолета Келдыш показал себя не только выдающимся теоретиком-математиком, но и талантливым инженером. Вот выдержка из его характеристики, датированной 1939 г.:

«Мстислав Всеволодович Келдыш работает в ЦАГИ с 1931 г. Он является, несмотря на молодость, одним из крупнейших научных работников

в СССР в области аэродинамики. В высшей степени талантливый математик и теоретик, он умеет свои глубокие знания приложить к промышленной практике. Он руководит научной группой по вибрациям самолета — труднейшему катастрофическому вопросу; он с группой разработал проблему настолько, что заключениями его группы полностью руководствуется промышленность по вопросам вибрации. В связи с этим М.В.Келдыш очень много и с исключительной пользой работает по заданиям промышленности...».

Фактическая база этой характеристики внушительна: достаточно сказать, что первые ученые степени ему присваиваются без защиты (в 1935 г. — степень кандидата физико-математических, а в 1936-м — технических наук). Успехи в разных областях сопутствовали друг другу на протяжении всей жизни Келдыша. В 1938 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «О представлении рядами полиномов функций комплексного переменного и гармонических функций», в 1943 г. был избран членом-корреспондентом АН СССР по Отделению физико-математических наук, 30 ноября 1946 г. — действительным членом Академии по Отделению технических наук. Упомянем также присуждение Келдышу в 1942 г. первой, а в 1946 г. — второй Сталинской премии, награждение в 1943 г. первой правительственной наградой — орденом Трудового Красного Знамени.



Академик М.В.Келдыш — начальник НИИ-1.

Вот такой 35-летний ученый, завоевавший большой авторитет своими работами в теоретической и прикладной математике, и специалист в области механики авиационных конструкций был 2 декабря 1946 г. назначен начальником Научно-исследовательского института реактивной авиации — НИИ-1 Министерства авиационной промышленности (МАП) СССР. С этого события начался путь Мстислава Всеволодовича в ракетно-космической технике.

Следует отметить, что в соответствии с историческим постановлением Совета Министров СССР от 13 мая 1946 г. «Вопросы реактивного вооружения», которое положило начало созданию в нашей стране ракетной отрасли, на МАП возлагалась разра-

ботка жидкостных ракетных двигателей для баллистических ракет дальнего действия, а НИИ-1 становился головной научно-исследовательской организацией не только по реактивным двигателям для авиации, но и по жидкостным — для ракетной техники.

НИИ-1, выросший на базе Реактивного научно-исследовательского института, к тому времени был уже известной исследовательской организацией, которая имела в своем активе создание первых отечественных баллистических и крылатых ракет, первой реактивной системы залпового огня «Катюша», разработку ракетоплана С.П.Королева, ракетных двигателей В.П.Глушко, Л.С.Душкина, а также ряд других новаторских работ. Однако к моменту прихода Келдыша институт представлял собой конгломерат из целого ряда конструкторских бюро, занимавшихся разработкой практически всех известных к тому времени типов реактивных двигателей, причем лабораторные установки существенно отставали от зарубежных.

Новый подход — новые результаты

Основы фундаментальной программы, сформулированной вновь назначенным руководителем для НИИ-1 вскоре после его прихода в институт, четко выделяют три ключевых направления:

- изучение физико-химических основ рабочего процесса и создание научной методологии проектирования и отработки жидкостных ракетных двигателей;

- исследование аэротермодинамических проблем, связанных с созданием сверхзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей и крылатых летательных аппаратов с этими двигателями;

- исследование проблем термо- и газодинамики тел, дви-

жущихся с большими скоростями в атмосфере, разработка методов и средств тепловой защиты таких летательных аппаратов.

Таким образом, работа института кардинальным образом перестраивалась: во главу угла ставилось проведение научных исследований, необходимых для создания реактивных двигателей и летательных аппаратов с данными двигателями. Естественно, одним из главных условий успеха должно было стать создание первоклассных научно-исследовательских лабораторий, о чем Келдыш писал в обращении к высокому руководству, вплоть до И.В.Сталина, предлагая организовать их в течение ближайших трех лет.

На заседании 1 апреля 1947 г. Научно-технический совет МАП Келдыша поддержал: институт обязан в первую очередь заниматься проблемными вопросами, помогая, конечно, и опытным конструкторским бюро по текущим разработкам. Сами конструкторские бюро из состава института должны быть выведены, а институт предложено структурировать в соответствии с научной проблематикой и оснастить современной экспериментальной базой.

В 1947—1948 гг. основные направления исследовательских работ института как ведущей научно-исследовательской организации по реактивному двигателестроению, проблеме газовой динамики и теплообмена, тепловым режимам летательных аппаратов окончательно оформились. Уже в эти годы ведущими учеными института Г.И.Петровым, Л.И.Седовым, Г.Н.Абрамовичем, А.П.Ваничевым, Е.С.Шетинковым и др. были проведены фундаментальные, но имеющие и прикладное значение научные исследования в области термодинамики, аэрогазодинамики, теории горения, теплообмена, теории устойчивости рабочих процессов в двигателях. Так были заложены основы методов проектирования, испытания и отработки жидкостных ракет-

ных и прямоточных воздушно-реактивных двигателей, а также база для решения проблемы теплозащиты летательных аппаратов.

В лаборатории жидкостных ракетных двигателей, которую в 1948 г. возглавил будущий член-корреспондент АН СССР Александр Павлович Ваничев, формируется группа талантливых специалистов, в короткие сроки развивается теория процессов в двигателях, разрабатываются методики расчета. Результаты теоретических и экспериментальных исследований по смесеобразованию и горению, по теории теплообмена и охлаждению камеры сгорания и сопла, по устойчивости рабочего процесса и изысканию новых схем двигателей, полученные А.П.Ваничевым, В.М.Иевлевым, В.В.Пшеничным, Б.А.Соколовым, М.В.Мельниковым, К.И.Артамоновым, А.Н.Аргеевым, М.Л.Маурером, К.И.Светушкиным, Г.П.Калмыковым, В.А.Ивановым, Ф.М.Тиняковым, Л.Ф.Фроловым, Н.В.Шутовым, приобретают широкую известность и находят практическое применение в двигательных конструкторских бюро. В частности, в отделе Мельникова были доказаны высокая (для того времени) экономичность кислородно-керосиновых жидкостных ракетных двигателей, возможность эффективного охлаждения камеры сгорания таких двигателей и устойчивость их рабочего процесса, что стало научным фундаментом для разработки в ОКБ главного конструктора В.П.Глушко первых мощных четырехкамерных кислородно-керосиновых двигателей РД-107 и РД-108 для первой и второй ступеней межконтинентальной баллистической ракеты Р-7. До этого в двигателях баллистических ракет Р-1, Р-2 и Р-5 в качестве горючего использовался этиловый спирт.

Отражением роли НИИ-1 в области двигателестроения стало назначение его Научно-



Двигатель РД-108 для второй ступени ракеты Р-7.

исследовательским институтом реактивных двигателей для управляемых ракет с созданием в его составе опытно-конструкторского бюро по жидкостным ракетным двигателям во главе с Л.С.Душкиным (постановлением Правительства от 10 марта 1952 г.). Так де-юре был закреплен осуществленный под руководством Келдыша переход от авиационной к ракетной тематике.

Широким фронтом

В то же время в лаборатории прямоточных воздушно-реактивных двигателей Е.С.Щетинков, В.С.Зуев, В.Я.Бородачев, Ю.Г.Федяев, И.Ф.Шебеко, И.В.Беспалов, В.А.Храмцов ведут активные исследования в целях разработки двигателей для сверхзвуковых летательных аппаратов. Полученные результаты позволили создать первые отечественные подобные двигатели в начале 50-х годов.

А в лаборатории газодинамики и теплообмена вокруг ее руководителя, будущего академика, первого директора Института космических исследований Георгия Ивановича Петрова формируется школа молодых ученых, получившая извест-

ность благодаря работам в области аэродинамики и конвективного теплообмена при больших скоростях полета, теплозащиты летательных аппаратов, а также разработке диффузоров для сверхзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей, сопел реактивных двигателей и сверхзвуковых аэродинамических труб. Наибольшее значение здесь приобретают исследования Г.И.Петрова, В.С.Авдучевского, Д.А.Мельникова, Н.Н.Широкова, Г.Ф.Теленина, Н.А.Анфимова, В.М.Миранова, Ю.А.Рыжова, Ю.В.Полежаева, А.В.Иванова.

В начале 1950-х годов по инициативе Келдыша в институте разворачиваются работы по ядерным ракетным двигателям. Решающее влияние на весь их ход оказала выдвинутая будущим членом-корреспондентом АН СССР Виталием Михайловичем Иевлевым концепция максимальной поэлементной отработки узлов таких двигателей. Созданный в институте при активном участии Ю.А.Трескина, К.И.Артамонова, А.Б.Пришлецова, А.М.Костылева, А.С.Коротеева, А.Я.Гольдина, Ю.Г.Демянко научно-технический задел по-

служил основой для разработки в дальнейшем в Конструкторском бюро химической автоматики первого отечественного ядерного ракетного двигателя. Его стендовый прототип тягой 3,6 тс прошел цикл успешных испытаний на специализированной стендовой базе начиная с 1978 г. при активном участии специалистов института (в создании базы на Семипалатинском полигоне тоже определяющим был вклад НИИ-1). Большой комплекс теоретических и экспериментальных исследований был проведен в институте на обеспечение разработок не только двигателей, но и ядерных энергетических установок с газофазной активной зоной.

В 1948 г. Келдыша как крупного математика и механика пригласили для консультации в НИИ-88, где в это время завершалась подготовка к летным испытаниям первой советской баллистической ракеты Р-1. Там он познакомился с Сергеем Павловичем Королевым, с той поры началась их творческая совместная работа и рожденная взаимной симпатией многолетняя человеческая дружба. Без преувеличения можно сказать, что



Обсуждение проекта ядерного реактивного двигателя. М.В.Келдыш, А.И.Лейпунский, В.М.Иевлев, И.В.Курчатов, Ю.А.Трескин.

судьба отечественной ракетно-космической отрасли многие годы определялась этими двумя выдающимися деятелями науки и техники — Теоретиком космонавтики Келдышем и Главным конструктором Королевым. Заменяя вопросы создания ракетно-ядерного щита вместе с Игорем Васильевичем Курчатовым, они мечтали о космических полетах...*

Работы же специалистов НИИ-1 в этот период были направлены на решение актуальных задач создания ракетно-космической техники в оборонных целях. Так, по предложению Келдыша будущий академик Всеволод Сергеевич Авдуевский принял активное участие в разработке теплозащиты для наконечников создаваемой в ОКБ-1 С.П.Королева первой стратегической ракеты с ядерным боезарядом Р-5. В 1956 г. за вклад в создание отечественных баллистических ракет дальнего действия первого поколения наряду с Королевым званием Героя Социалистического Труда был удостоен Келдыш, орденом Ленина награжден Петров, орденом Трудового Красного Знамени — группа двигателистов НИИ-1 во главе с Ваничевым.

В начале 1950-х годов Королев и Келдыш инициировали большую межведомственную комплексную научно-исследовательскую работу «Исследование перспектив создания ракет

с большой дальностью полета с целью получения их основных конструктивных и летно-технических характеристик». Ее результатом стал выход в 1954 г. двух постановлений Правительства СССР — по разработке в КБ С.П.Королева межконтинентальной баллистической ракеты Р-7 и в конструкторских бюро С.А.Лавочкина и В.М.Мясищева межконтинентальных крылатых ракет «Бура» и «Буран».

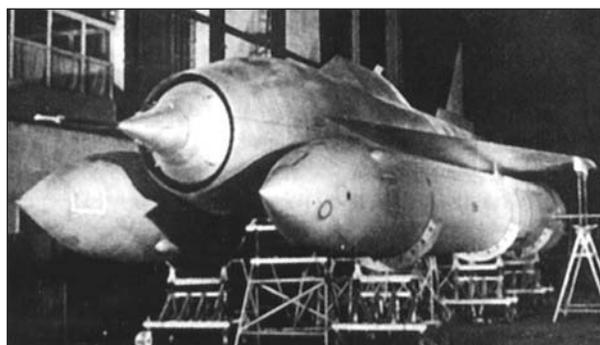
В части, относящейся к созданию крылатой ракеты, постановление базировалось на проведенных в 1947—1953 гг. под руководством Келдыша изысканиях по созданию эффективно работающего сверхзвукового прямоточного воздушно-реактивного двигателя. Особенно следует подчеркнуть следующие приоритетные достижения: по многоскачковым воздухозаборникам с центральным телом; по сверхзвуковым соплам с профилированными стенками; по изобретению высотной камеры, позволяющей в земных условиях проводить высотные испытания двигателя в аэродинамических трубах.

В расчетах контуров этого двигателя активно участвовали сотрудники созданного Келдышем в 1944 г. в Математическом институте им.В.А.Стеклова АН СССР (МИАН) отдела механики, переросшего в 1953 г. в Отделение прикладной математики МИАН, а в 1966 г. — уже в самостоятельный Институт прикладной математики АН СССР (ИПМ), ныне носящий имя М.В.Келдыша.

Под его руководством в этих учреждениях Академии наук велись широкие расчетно-теоретические исследования в области ракетно-космической науки и техники.

Постановлением Правительства о создании крылатой ракеты на НИИ-1 и персонально на Келдыша была возложена координация всех научных исследований для обеспечения создания таких ракет. Главным конструктором жидкостного ракетного двигателя разгонной ступени ракеты «Бура» был назначен Алексей Михайлович Исаев, главным конструктором прямоточного воздушно-реактивного двигателя маршевой ступени — Михаил Макарович Бондарюк, оба в прошлом сотрудники НИИ-1. Успешная и быстрая отработка этой ракеты стала возможной благодаря созданию (опять же по инициативе и под руководством Келдыша) больших натурных стендов для комплексных тепловых испытаний изделия в целом. В 1954 г. Келдыш организует филиал НИИ-1, в котором разрабатывается астронавигационная система управления для «Бури». Перед установкой на ракету проводятся испытания системы на самолете «Ту-16» при полетах в стратосфере на большую дальность. Ракета «Бура» успешно прошла летные испытания в 1957—1960 гг., но на вооружение не была принята, потому что предпочтение было отдано альтернативной разработке межконтинентальной баллистической ракеты.

* Об этом подробнее пойдет речь в следующей статье. — Ред.



Установка маршевой ступени «Бури» (без крыльев) на стенд Ц-12Т (слева) и ракета «Бура» на сборочной площадке.

Тем не менее научные и технические результаты, полученные при разработке «Бури», даром не пропали — построенная в ходе этих работ экспериментально-испытательная база нашла применение при создании последующей техники со сверхзвуковыми прямоточными воздушно-реактивными двигателями, в частности при разработке под руководством В.Н.Челомея изделия «Метеорит», а также при отработке теплозащиты спускаемых космических аппаратов, таких как «Союз», «Алмаз», «Венера», возвращаемых на Землю капсул с лунным грунтом, искусственных спутников Земли.

Что касается второй части постановления, то успех был 100-процентным. Научно-исследовательские работы, связанные с созданием межконтинентальной баллистической ракеты, Келдыш начал еще в 1948 г., теснейшим образом взаимодействуя с Королевым и его ОКБ. В 1949-1951 гг. под его руководством в МИАН был выполнен цикл работ по определению оптимальных схем и характеристик составных баллистических ракет. Эти исследования помогли Королеву выбрать окончательную схему ракеты Р-7.

При разработке ракеты Р-7 на НИИ-1 было возложено три комплекса задач: обеспечение устойчивости процесса в кислородных жидкостных ракетных двигателях (руководители А.П.Ваничев, В.В.Пшеничников); исследования по газовой динамике, теплообмену и теплозащите головных частей (руководитель Г.И.Петров); разработка методов измерения пульсаций давления и аппаратуры для этих измерений (руководитель К.А.Разин). Коллектив НИИ-1 под руководством Келдыша в тесном взаимодействии с другими участниками успешно выполнил государственное задание и внес свой весомый вклад в создание первой в мире межконтинентальной баллистической ракеты Р-7 и мощной ракеты-носителя на ее основе, модификации ко-

торой успешно эксплуатируются и в настоящее время.

Запуск в будущее

Келдыш имел непосредственное отношение к формированию и реализации идеи создания первых искусственных спутников Земли*. Решение директивных органов о запуске первого ИСЗ было принято в августе 1955 г., но сама работа, связанная с подготовкой запуска спутника, началась гораздо раньше. В частности, в НИИ-1 под руководством Келдыша будущим академиком Б.В.Раушенбахом и Е.Н.Токарем был разработан аванпроект системы активной ориентации спутника. Тогда же в Отделении прикладной математики будущий академик Д.Е.Охоцимский первым в мире обосновал пассивную систему ориентации.

4 октября 1957 г. ознаменовалось началом космической эры человечества. Высокой оценкой вклада в создание первой в мире межконтинентальной баллистической ракеты Р-7 и мощной ракеты-носителя на ее основе, в создание и запуск первого

* Подробнее об этом см. следующую статью. — *Ред.*



Ракета-носитель «Восток», которая была создана на базе Р-7, снабженной дополнительной ступенью, с космическим аппаратом «Луна».

в мире искусственного спутника Земли стало присуждение в 1957 г. Ленинской премии Келдышу и Ваничеву, награждение орденами и медалями большой группы сотрудников НИИ-1.

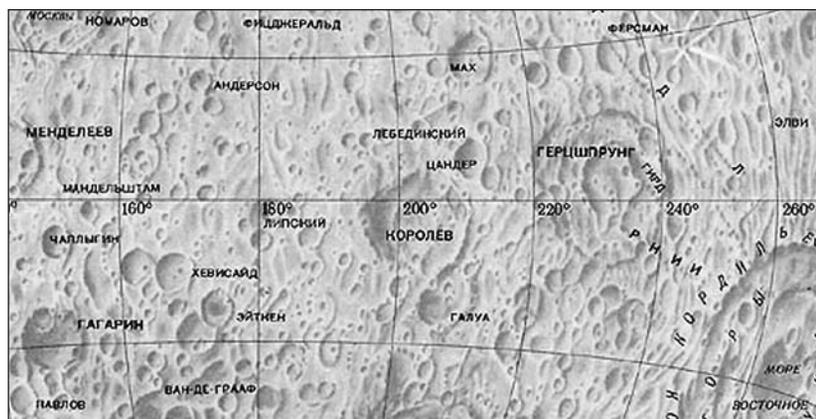
Почти сразу же после запуска первого спутника Келдыш и Королев поставили очередную



Космический аппарат «Луна-3».



Схема съемки обратной стороны Луны.



Фрагмент карты обратной стороны Луны.

задачу: достичь Луны и исследовать окололунное пространство. Первые работы по этой проблеме под руководством Келдыша были проведены еще в начале 50-х годов. И теперь в сжатые сроки была выбрана траектория, позволяющая облететь Луну и получить снимки ее обратной стороны. Ключевая проблема заключалась в том, чтобы обеспечить необходимую для съемки ориентацию аппарата относительно Луны. По предложению Келдыша эта задача была успешно решена группой сотрудников НИИ-1 во главе с Борисом Викторовичем Раушенбахом. 7 октября 1959 г. автоматическая станция «Луна-3» впервые в мире сфотографировала

обратную сторону земного компаньона. За данную работу Раушенбах, а также Е.А.Башкин и Д.А.Князев были удостоены Ленинской премии.

В самый разгар работ по подготовке лунных экспедиций Келдыш и Королев приняли совместное решение начать подготовку беспилотных полетов к Венере и Марсу. 12 февраля 1961 г. стартовала первая межпланетная станция к Венере, а 1 ноября 1962 г. — первая станция к Марсу.

Для осуществления полетов за пределы околоземной орбиты потребовалась установка на ракету-носитель дополнительной ступени, что привело к продольной неустойчивости раке-

ты. Келдыш привлек к решению этой сложной технической задачи сотрудников НИИ-1 во главе с М.С.Натанзоном. Проведенные в институте исследования нового сложного явления, приводившего к разрушению ракеты, позволили на основе теоретического объяснения происходящего выдать конкретные предложения по разработке устройств, демпфирующих колебания, и таким образом надежно решить проблему. Это имело важное значение для подготовки пилотируемых полетов в космос в связи с использованием дополнительной ступени в виде орбитального корабля.

Задача «перехода от простейшего спутника к небольшо-



Академики М.В.Келдыш и С.П.Королев. 1963 г.



Осмотр кабины космического корабля в ОКБ-1.

му экспериментальному обитаемому кораблю, рассчитанному на длительное пребывание одного-двух человек на круговой орбите», ставилась в качестве необходимого второго этапа программы космической деятельности еще при обсуждении запуска первого спутника. В основу докладной записки, составленной 25 мая 1954 г. Михаилом Клавдиевичем Тихонравовым по заданию Королева и с учетом совещания, проведенного 16 марта 1954 г. Келдышем в Академии наук, легли результаты работ, которыми в НИИ №4 Академии артиллерийских наук СССР руководил Тихонравов (до 1946 г. — сотрудник НИИ-1). Работы по пилотируемым полетам в космос в этот период широко велись под руководством Келдыша в НИИ-1 и Отделении прикладной математики.

В августе 1958 г. в ОКБ-1 был выпущен отчет «Материалы предварительной проработки вопроса о создании спутника Земли с человеком на борту (объекта ОД-2)», подписанный главным конструктором С.П.Королевым, заместителем главного конструктора по космической технике К.Д.Бушуевым, начальником отдела проектирования космических аппаратов М.К.Тихонравовым и начальником группы проектирования пилотируемых космических аппаратов К.П.Феоктистовым. Комментируя этот отчет, Феоктистов отмечал: «При подготовке отчета был использован опыт, имевшийся в нашем конструкторском бюро, по расчетам, проектированию, измерениям, а также опыт и данные других организаций, работавших в области ракетной техники, таких как НИИ-1 МАП (тепловые расчеты, рекомендации по управлению, общий анализ)».

В ходе дальнейших работ по созданию корабля «Восток» в НИИ-1 расчетами и экспериментами были обоснованы параметры тепловой защиты аппарата при спуске его с орбиты.

Группой сотрудников во главе с Раушенбахом по техническому заданию ОКБ-1 Королева в июле 1959 г. был выпущен эскизный проект системы ориентации объекта «Восток». В 1960 г. эта группа для реализации проекта была переведена в ОКБ-1.

После завершения триумфального полета Гагарина наряду с Королевым и Келдышем званием Героя Социалистического Труда был удостоен Петров, который в период завершения работ по головной части ракеты Р-7 и создания космического корабля «Восток» уже был официальным научным руководителем по вопросам теплообмена и теплозащиты космических аппаратов, разрабатываемых в ОКБ-1.

Научный руководитель отрасли

19 мая 1961 г. Келдыш был избран президентом Академии наук СССР. Тогда же он покинул пост научного руководителя НИИ-1, но фактически стал научным руководителем всей ракетно-космической отрасли страны.

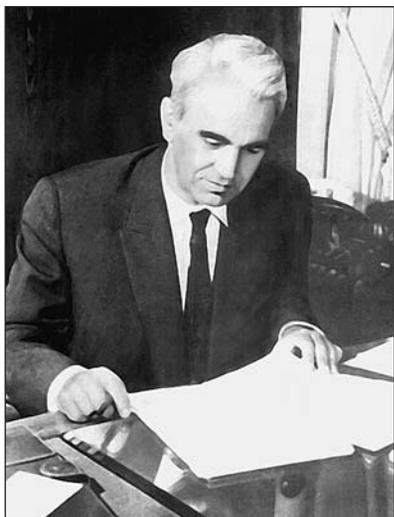
Еще в 1959 г. Келдыш и Королев направили в Правительство докладную записку «О развитии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по освоению космического пространства», в которой были предложены необходимые организационные меры. И теперь Мстислав Всеволодович, уже в новом качестве, принимает активные действия по реализации этих предложений. В частности, были созданы Институт медико-биологических проблем и Институт космических исследований АН СССР.

Понимая огромное значение использования автоматических космических аппаратов для связи и телевидения, метеорологии и охраны окружающей среды, исследования природных ресурсов, картографии и других важных отраслей народного хозяйства и науки, Королев и Кел-

дыш всегда считали главной целью создание пилотируемых аппаратов, освоение космоса человеком. Вслед за «Востоком» и «Восходом» было создано поколение транспортных кораблей «Союз». 16 января 1969 г. произошла первая стыковка пилотируемых аппаратов этой серии. В 1971 г. с помощью ракеты-носителя «Протон» была выведена на орбиту первая орбитальная станция «Салют».

Космонавтика стала отраслью народного хозяйства. Мстислав Всеволодович в этот период волновали перспективы ее использования для практических нужд. С большим вниманием Келдыш относился к перспективам, открываемым космической технологией, к возможности получения материалов с улучшенными свойствами, кристаллов, свободных от дислокаций. С желанием понять главное, осмыслить реальные перспективы и целесообразность подходил Келдыш к проблеме энергоснабжения Земли из космоса, которой всегда живо интересовался.

Выдающаяся роль Келдыша в становлении, развитии и достижениях отечественной ракетно-космической техники, наряду со многими другими факторами, определяется и тем, что он в своей деятельности придавал первостепенное значение поиску перспективных путей и направлений ее развития и концентрации усилий научно-исследовательских коллективов на разрешении ключевых научных и технических проблем, стоящих на пути реализации этих направлений. Такой подход к организации научно-исследовательского обеспечения опытно-конструкторских работ способствовал разработкам важнейших ракетных и ракетно-космических комплексов в крайне сжатые сроки и открывал пути дальнейшего их совершенствования. Очень показательна в этом отношении роль Келдыша в судьбе ракеты-носителя УР-500К, известной как «Протон».



Президент Академии наук СССР М.В.Келдыш.

В начале 60-х годов неоправданно большая уверенность в возможности быстрого создания и отработки носителя Н-1 и его модификаций породила у многих специалистов мнение, что других носителей создавать не нужно. Поэтому, когда в КБ В.Н.Челомея была практически завершена разработка ракеты-носителя УР-500, возникло предложение работы по ее созданию прекратить, ограничившись этапом летно-конструкторских испытаний нескольких изделий. Мотивировалось это, в частности, тем, что выведение на стандартную орбиту грузов массой примерно 20–25 т не перспективно, что ракета такой грузоподъемности применения не найдет, а будут востребованы лишь носители типа Н-1. Мстислав Всеволодович, возглавивший соответствующую комиссию, прозорливо увидел несостоятельность такой точки зрения и сумел исключительно аргументированно и последовательно доказать, что нужда в таком носителе велика, а со временем станет еще больше, и что на пути создания ракеты Н-1 могут встретиться большие трудности, в то время как носитель УР-500 уже существует.

Жизнь блестяще подтвердила это предвидение. «Пятисотка»

стала одним из основных средств, обеспечивающих наши крупнейшие достижения — от выведения на орбиту серии тяжелых спутников «Протон» для изучения высокоэнергетической компоненты космических лучей, орбитальных станций ДОС и «Алмаз» (совершенствование конструкции которых привело к появлению летательных аппаратов «Салют» — «Союз» — «Прогресс») до создания на околоземной орбите долговременного пилотируемого комплекса «Мир» и Международной космической станции. Благодаря этому носителю открылись принципиально новые возможности в исследовании Луны и планет Солнечной системы.

Дальнейшему совершенствованию носителей, прежде всего УР-500, и вместе с тем рациональному использованию расходуемой энергии для решения определенных задач Мстислав Всеволодович уделял постоянное внимание. На заседании Межведомственного научно-технического совета по космическим исследованиям АН СССР 2 июня 1966 г., на котором обсуждался вопрос о модернизации носителя УР-500, он говорил: «Меня смущает такое положение, когда число носителей у нас и в США примерно одинаково, а число запускаемых объектов в США существенно больше. Прошла пора, когда только за счет выводимых весов можно было говорить о том, что мы впереди. Поэтому прежде чем говорить о том, что может тот или иной носитель обеспечить в части, например, исследования планет, надо хорошо разобраться, какие исследования необходимы. Это касается как Марса, так и особенно Юпитера и Меркурия, ибо для астрономии важно сейчас достичь хотя бы одной планеты, а не всех, и в то же время необходимо уделить большое внимание исследованию звезд и галактик. Более серьезного внимания заслуживают направления использования носителя УР-500К для запу-

ска спутников связи и станций «Алмаз». Уже только создание таких спутников, которые позволяют вести прием на индивидуальные телевизионные антенны, оправдывает работы по модернизации «пятисотки».

Мстислав Всеволодович очень четко и своевременно поставил вопрос о создании массовой дешевой ракеты-носителя для запуска спутников небольшого веса, предназначенных для выполнения широкого спектра научных экспериментов в космосе. Это предложение сначала не было понято и оценено большинством специалистов. Однако благодаря его настойчивости предложение нашло воплощение в создании ракет-носителей, на которых и выводятся многочисленные семейства спутников «Космос».

Решение о внедрении в практику тех или иных направлений совершенствования ракетно-космической техники Келдыш принимал, лишь тщательно проанализировав результаты проведенных научно-исследовательских работ и детально обсудив проблему с главными конструкторами и ведущими специалистами отрасли. Он очень внимательно и взвешенно учитывал их мнение по рассматриваемым проблемам.

Ярким примером тому может служить история вопроса о применении водорода в качестве горючего жидкостных ракетных двигателей в паре с кислородом. После проведенного в лабораториях №6 и 8 НИИ-1 комплексного анализа применения кислородно-водородного топлива и аналогичных работ в КБ главных конструкторов А.М.Исаева и А.М.Люлька, показавших высокую ожидаемую эффективность его использования, Мстислав Всеволодович в 1959 г. провел научно-техническое совещание. В нем приняли участие В.П.Глушко, А.М.Исаев и другие авторитетные специалисты отрасли. Валентин Петрович Глушко, выступивший в прениях, высказал сомнение в досто-

верности проведенных оценок. После этого совещания Мстислав Всеволодович дал указание лабораториям №6 и 8 провести тщательную проверку полученных результатов. При проверке предыдущие выводы были подтверждены. На следующем (примерно через два месяца после первого) научно-техническом совещании у Келдыша по этому вопросу Глушко публично признал ошибочность своих сомнений в высокой эффективности кислородно-водородного топлива и подчеркнул, что чувствует внутреннюю потребность высказать это присутствующим. Эта история показывает высокую принципиальность и ответственность как Келдыша, так и Глушко за принятие своих решений, определявших ход развития ракетного двигателестроения. Символично, что в качестве маршевого двигателя второй ступени универсального ракетно-космического комплекса «Энергия—Буря», созданного в 1970-1980 гг. под руководством Глушко, использовался разработанный в Конструкторском бюро химической автоматики самый мощный отечественный однокамерный кислородно-водородный двигатель РД-0120.

Курсом, намеченным Келдышем

Многое из того, над чем работал Келдыш, сохраняет свою актуальность и сегодня, а часть еще ждет своего воплощения в жизнь. Например, еще в 50-е годы Мстислав Всеволодович поставил задачу, которая была успешно решена сотрудниками НИИ-1, — обеспечить резкое повышение эффективности жидкостных ракетных двигателей путем организации дожигания газотурбинного газа в камере сгорания. Это позволяло резко повысить удельную тягу, но требовало существенного изменения схемы двигателя и поставило ряд принципиально новых вопросов по рабочим процессам. В 1958 г.

в НИИ-1 был изготовлен и в январе — марте 1959 г. испытан первый экспериментальный двигатель с дожиганием генераторного газа (замкнутой схемы). Пионерские работы НИИ-1 положили начало интенсивным усилиям по созданию жидкостных ракетных двигателей замкнутых схем во всех отечественных КБ. Замкнутую схему имеет самый мощный отечественный двигатель РД-170, разработанный в НПО «Энергомаш» для ракет-носителей «Энергия» и «Зенит». Лучшее доказательство действительно высокого совершенства российских жидкостных ракетных двигателей замкнутой схемы — решение США приобрести для модернизации ракеты-носителя «Атлас» двигателя РД-180 разработки НПО «Энергомаш», применение которых началось в 2000 г.

В ходе проводимых под руководством Келдыша в НИИ-1 работ по прямоточным воздушно-реактивным двигателям Е.С.Щетинков в 1957 г. изобрел его гиперзвуковой вариант. В настоящее время как в России, так и в США такие двигатели активно разрабатываются, проводятся летные испытания экспериментальных образцов. С ними связывают будущее космонавтики, так как они могут помочь кардинально снизить стоимость выведения в космос.

Исключительно большое значение Келдыш придавал внедрению ядерной энергетики в ракетно-космическую технику. Основным вариантом энергодвигательного комплекса для пилотируемой марсианской экспедиции, проект которой разрабатывался в 1960-х годах под руководством Королева и Келдыша, была комбинация ядерной энергетической установки многомегаваттного уровня мощности с маршевой электроракетной двигательной установкой. Однако практически достигнутые уровни мощности космических ядерных установок в 1960—1980-е годы не превышали 10 кВт.

В настоящее время большой кооперацией предприятий Роскосмоса и Росатома под руководством Государственного научного центра — Федерального государственного унитарного предприятия «Исследовательский центр имени М.В.Келдыша», преемника НИИ-1, ведется разработка проекта «Создание транспортно-энергетического модуля с ядерной энергодвигательной установкой мегаваттной мощности». Увеличение в дальнейшем мощности до 25 МВт сделает мечту Келдыша и Королева о пилотируемой экспедиции на Марс вполне реализуемой.

Удивительно точную характеристику вклада Мстислава Всеволодовича Келдыша в решение задач ракетно-космической техники дал Сергей Павлович Королев, подготовивший для выступления на собрании Академии наук СССР 19 мая 1961 г. текст в поддержку кандидатуры Келдыша на пост президента Академии, но отсутствовавший в то время в Москве. Там есть такие строки:

«Хочется отметить характерные черты и особенности, присущие творческой деятельности Келдыша. Во-первых, это неизменное чувство нового, умение найти и определить это новое, понять его. Во-вторых, это сам метод — стремление всегда к сугубо практическому, законченному решению задачи и стремление к установлению конкретных рекомендаций, применимых к жизни; и при всем этом весьма высокий уровень исследований, корректные разработки и решение данной задачи.

Келдыша как ученого очень выгодно отличают его широкие и близкие связи с промышленностью, с конструкторскими бюро, с заводами и летно-испытательными организациями.

Келдыш является организатором, научным руководителем и самым непосредственным участником разработки сложнейших проблем освоения космического пространства». ■

Научный космос имени Келдыша

Академик Л.М.Зеленый,
О.В.Закутняя,

кандидат филологических наук
Институт космических исследований РАН
Москва

Начало космической эры в мире было бурным. События — запуски аппаратов, неожиданные открытия — следовали один за другим через какие-нибудь месяцы или даже недели. Перед человечеством открывалась Вселенная: не через толщу земной атмосферы, «отфильтровывающей» чуть ли не все наиболее интересные для физиков излучения и частицы, — а непосредственно, в пределах досягаемости если не рук исследователя, то хотя бы его приборов. Космические аппараты впервые ощутили на себе воздействие земных радиационных поясов, увидели небо во всем диапазоне электромагнитного излучения, сфотографировали ландшафты других планет и даже привезли на Землю грунт ее естественного спутника — Луны.

Удивления достойны не только и не столько сам научный прогресс, сколько те люди, которые в буквальном смысле слова были его движителями. Люди, умевшие работать и думать, анализировать ситуацию и точно действовать, любившие свою страну и желавшие познать окружающий мир.

У истоков отечественной космонавтики и космической науки, как известно, стояли двое людей: Главный конструктор Сергей Павлович Королев и Главный теоретик Мстислав Всеволодович Келдыш. И если Королев — прежде всего созда-

тель ракет («машин», как их называют специалисты), что вывели в космос первые рукотворные объекты, и организатор ракетной отрасли, то Келдышу принадлежит честь разработки теоретических основ космических полетов и, что не менее важно, — определения стратегических целей научных исследований в космосе. Без преувеличения можно сказать, что именно Мстислав Всеволодович Келдыш создал систему космических исследований практически в том виде, в котором она существует и сегодня.

Знакомясь с историей первый десятилетий космических исследований, понимаешь, сколь грандиозны масштабы совершенного: не только в отношении научных результатов, но и в ином, организационном измерении вопроса. Невольно при этом возникает вопрос: что было бы, окажись на месте Келдыша кто-то еще? Была бы у нас другая история — и что это была бы за история?

Этот вопрос: личности ли двигают историю или история «подбирает» личностей себе под стать — был предметом размышлений еще классиков, и данная статья не будет отвечать на него. Мы лишь попытаемся очень кратко — насколько позволяет объем журнальной статьи — обрисовать деятельность Келдыша и отметить те ключевые решения, которые стали определяющими для отечественных космических исследований в целом.

Воплощенные идеи

Значение Мстислава Всеволодовича для советской (и, шире, — российской) космонавтики определялось несколькими обстоятельствами.

Если следовать хронологии, проблемы ракетно-космической техники прочно заняли внимание Келдыша со второй половины 40-х годов, когда он был назначен начальником (с 1950 г. — научным руководителем) Реактивного научно-исследовательского института (сейчас — Исследовательский центр им.М.В.Келдыша) и начал разработку теории ракетных двигателей разного типа, актуальных технических вопросов теории горения, физической газовой динамики. Тогда же, в конце 40-х, начался многолетний творческий союз Главного конструктора и Главного теоретика отечественной космонавтики. Вспомним, что в это время Сергей Павлович был занят созданием межконтинентальных баллистических ракет. Однако уже в самом начале этой работы и Келдыш, и Королев понимали те перспективы, которые открывала ракетная техника для выхода в космос. По их инициативе были развернуты работы по подготовке к космическим полетам, для чего требовались обширные научные исследования. Начало им было положено при реализации программы исследований с помощью ракет верхних слоев атмосферы в научных и оборонных целях. Организа-

ция постановления правительства по этой программе, принятой в декабре 1949 г., и воплощение его в жизнь стало одним из первых совместных действий Королева и Келдыша.

Несколько позже, в 1953 г., Мстислав Всеволодович стал директором Отделения прикладной математики в МИАНе (ОПМ), которое с 1966 г. называется Институтом прикладной математики. Здесь создавалось математическое обеспечение космических полетов: работы по ракетодинамике и механике космического полета, баллистике, небесной механике, астронавигации, вычислительной математике. В том же 1953 г. в ОПМ был впервые предложен баллистический спуск космического аппарата с орбиты на Землю и показана возможность его использования при пилотируемых полетах. Первый полет человека в космосе в 1961 г. был завершён успешным приземлением с использованием этого метода. В 1954 г. там же был предложен первый конкретный вариант системы пассивной стабилизации искусственного спутника Земли и построена теория такой стабилизации.

К середине 50-х годов относится и оформление идеи запуска искусственного спутника Земли или, сокращенно, ИСЗ (здесь мы имеем в виду конкретные шаги по организации такого запуска — сама по себе идея спутника Земли высказывалась и ранее). Предложение о создании искусственного спутника Земли М.В.Келдыш совместно с С.П.Королевым и М.К.Тихонравовым выдвигают в начале 1954 г. Затем, по следам проведенного Келдышем в марте 1954 г. совещания в Академии наук (обсуждались задачи, которые мог бы решать ИСЗ), оно оформляется в докладную записку правительству. Позже, в 1956 г., когда идея подготовки и запуска спутника была одобрена и началась работа по его созданию, Келдыш был назначен председателем специальной

комиссии Президиума АН СССР по ИСЗ (Комиссия по объекту «Д»). Это фактически означало, что именно Мстислав Всеволодович становился ответственным за подготовку научной аппаратуры и программу исследований с орбиты ИСЗ. Уже после успешного запуска, в 1958 г., эта комиссия решением ЦК КПСС и Совета министров СССР была преобразована в Межведомственный научно-технический совет по космическим исследованиям при Академии наук (МНТС по КИ), председателем которой также был назначен Келдыш. С этого момента он нес особую ответственность за ход выполнения космической программы СССР.

Но вернемся к первым спутникам. К работе над научной «начинкой» аппарата были привлечены многие институты, в том числе и те, что не состояли в системе Академии наук. Сама по себе тема исследований за пределами земной атмосферы не была совсем уж новой: в СССР упоминавшиеся эксперименты по изучению верхних слоев атмосферы, космических лучей и др. на геофизических ракетах к тому времени проводились уже довольно давно, фактически с начала испытаний первых конструкций баллистических ракет в Капустинном Яру. Тем не менее задача, стоявшая перед Келдышем, была принципиально новой: предстояло не только составить программу экспериментов на отдельном аппарате, но и наметить основные возможности развития науки с помощью космических средств.

Для этого Мстислав Всеволодович отправил в институты, потенциально заинтересованные в космических исследованиях, письмо с предложением выдвигать идеи экспериментов, которые можно было бы осуществить на орбите. Затем в кабинете Келдыша, тогда уже члена президиума Академии наук, состоялась и встреча ученых, на которой обсуждались возможные эксперименты на борту

космического аппарата. Идеи, сформулированные тогда, составили научную программу «объекта Д» — аппарата, которому предстояло стать третьим искусственным спутником Земли, запущенным 15 мая 1958 г.

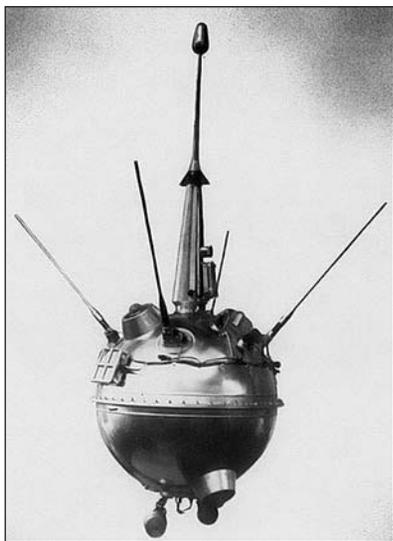
Преодолевая земное тяготение

История запуска первых спутников Земли описана довольно подробно, поэтому не будем останавливаться сейчас на ней. Упомянем только одну весьма характерную деталь. Еще до запуска «объекта Д» в Академии наук начались подготовительные работы по лунной программе. Ниже приведем цитату из доклада Келдыша на заседании Президиума Академии наук 14 сентября 1956 г.:

«Конечно, мы не можем останавливаться на задаче создания спутника Земли, мы, естественно, думаем о дальнейших задачах — о космическом полете. Такой задачей, которая на этом пути, мне представляется, будет решена в первую очередь, является задача облета Луны и фотографирования ее с той стороны, которая от нас всегда скрыта. Мне представляется, что и эти перспективы уже не так далеки».

Действительно, практически сразу после запуска первого спутника, в 1958 г., было принято несколько попыток запуска аппарата к Луне. 2 января 1959 г. эти попытки наконец увенчались успехом, и аппарат, получивший название «Луна-1», прошел вблизи поверхности земного спутника. Хотя запланированная цель (попадание в Луну) не была достигнута, аппарат получил известность как первая в истории человечества «искусственная планета» — рукотворный объект на гелиоцентрической орбите. После этого в мировой печати «Луна-1» стала известна под именем «Мечта».

Приоритет попадания в Луну также принадлежит советскому аппарату «Луна-2», запущенному



Космический аппарат «Луна-2», с помощью приборов которого был открыт солнечный ветер.

12 сентября 1959 г. и доставившему на спутник вымпелы с изображением герба СССР. Менее чем через месяц и ровно через два года после запуска первого спутника, 4 октября, с Земли стартовал аппарат «Луна-3», который выполнил первую в истории фотосъемку обратной стороны Луны.



Старт ракеты Р-7 с Ю.А.Гагариным на борту. 12 апреля 1961 г.



Космический аппарат «Луна-3», впервые сфотографировавший обратную сторону Луны.

На первых «лунниках» также было сделано одно из первых открытий космической эры: с помощью счетчиков на борту станций «Луна-2» и «Луна-3» группой под руководством Константина Иосяфовича Грингауза (тогда сотрудника Радиотехнического института) был экспериментально обнаружен «солнечный ветер» — поток ионизованной плазмы, постоянно с большой скоростью движущийся от Солнца. Хотя это явление было теоретически предсказано специалистами в области физики плазмы еще до начала космической эры, непосредственно наблюдать его и, более того, измерять параметры потока стало возможным только с появлением космических аппаратов.

Однако сам Мстислав Всеволодович по-прежнему продолжал работать «на опережение»: в 1958–1959 гг., т.е. еще до старта второго и третьего «лунников», под его руководством в ОПМ МИАН (совместно с В.Г.Ершовым, Д.Е.Охоцимским и Т.М.Энеевым) было выполнено теоретическое исследование по динамике полета к Марсу и Венере, где был обоснован высокоэкономичный метод разгона

космической ракеты с промежуточным выводом четвертой ступени, которая затем доставляла аппарат к Венере, на орбиту ИСЗ.

Мстислав Всеволодович всячески побуждал Сергея Павловича заняться исследованиями других планет. И тот начал эти работы в 1959 г. Первый аппарат «Венера-1» был запущен в феврале 1961 г. К сожалению, из-за отказа системы управления и радиосистемы связь была потеряна еще на стадии перелета к планете. Тем не менее в этом и следующих запусках («Венеры-2» и «Венеры-3», оба в 1965 г.), хотя и не было передачи телеметрической информации непосредственно с поверхности планеты, были отработаны сами запуски подобных аппаратов, навигация, подлет к планете. А «Венера-3», как предполагается, села на планету и доставила туда вымпел Советского Союза.

Шестидесятые годы — время, в космической науке исключительно насыщенное событиями. В апреле 1961 г. произошел легендарный полет Юрия Гагарина на космическом корабле «Восток», открывший эру пилотируемой космонавтики, а вскоре, в 1962 г., — запуск первой автоматической межпланетной станции (АМС) к Марсу — «Марс-1». Целью этого запуска было фотографирование Марса при пролете. К сожалению, связь с аппаратом исчезла до его прибытия к цели, поэтому научной информации с борта «Марса-1» не поступило. В это же время началась «лунная гонка», которой сопутствовала активная отработка необходимых для отправки человека на Луну технологий, и не менее же активное изучение Луны с борта АМС: отработка мягкой посадки и проведение контактных и дистанционных исследований самой Луны и окололунного пространства.

Возможно, не случаен и тот факт, что в мае 1961 г. Мстислав Всеволодович был избран пре-



Пресс-конференция, посвященная первому в истории длительному групповому полету космических кораблей «Восток-3» и «Восток-4». Г.С.Титов, Ю.А.Гагарин, А.Г.Николаев, М.В.Келдыш, П.Р.Попович. МГУ им.М.В.Ломоносова, август 1962 г.

зидентом Академии наук. Несмотря на то, что в этой должности ему приходилось одинаково внимательно относиться к развитию разных областей науки, космическим исследованиям по-прежнему отводилось одно из приоритетных мест, что определялось, впрочем, не личными пристрастиями президента Академии, а объективной ситуацией в научном мире.

Планы и жизнь

К 60-м годам относится и попытка составления стратегического плана космических исследований. В конце 1962 г. Келдыш направляет в директивные органы письмо «О плане научных исследований космического пространства на 1963—1964 гг.» с кратким перечислением научных и технических задач, которые, по мысли президента АН СССР, возможно решить в ближайшие годы. Предполагалось, что двухлетний план должен стать частью более обширной

программы космических исследований.

В этом относительно небольшом документе выделены основные направления научных исследований на ближайшие годы: изучение Луны и окололунного пространства; изучение планет Солнечной системы и межпланетного пространства; изучение околоземного космического пространства, а также более подробно расписаны основные научные задачи, которые, по мысли Келдыша, можно было решить в ближайшее время.

Сейчас, по прошествии нескольких десятилетий, можно сказать, что если не все, то большинство этих задач удалось решить, хотя и не за два года (а часть из них, увы, в нашей стране не реализована до сих пор: например, не создан аппарат для изучения межпланетного пространства с удалением от плоскости эклиптики).

Тем не менее первое десятилетие космической эры стало временем зарождения и первого

расцвета фактически всех направлений космических исследований. О планетных проектах мы уже писали выше. Но вместе с ними проводилась не менее интенсивная и не менее результативная программа по исследованию околоземного пространства на спутниках серии «Космос» (начиная с 1962 г.). В 1964 г. была реализована успешная программа по исследованию радиационных поясов Земли на спутниках «Электрон». В 1965—1968 гг. проведен уникальный эксперимент по исследованию первичных космических лучей с помощью calorиметров на тяжелых спутниках «Протон».

Эти эксперименты, хотя и не приносили столь зрелищных результатов, как планетные исследования, оказались чрезвычайно важными для понимания процессов, происходящих вблизи Земли и непосредственно влияющих на земные процессы. Именно в числе спутников «Космос» были запущены первые солнечные и астрофизические обсерватории. Наконец, серия

«Космос» стала фактически первой системой унифицированных аппаратов для космических исследований, что позволило и снизить их стоимость (весьма важное обстоятельство, учитывая ограниченное финансирование), и сократить сроки подготовки к запуску.

Одновременно с развитием собственно научной стороны космонавтики 60-е годы характеризовались организационным «переустройством» этой отрасли. Одним из основных процессов было постепенное разделение «ответственности» за отдельные темы космических исследований между разными конструкторскими бюро. Так, в 1964–1965 гг. Королев передал в КБ, где главным конструктором был Г.Н.Бабакин, тему исследования Луны и планет. Именно здесь были реализованы проекты АМС «Луна-9» (1966), впервые совершившей мягкую посадку на поверхность Луны, и АМС «Венера-4» (1967), первого аппарата, передавшего

результаты прямых измерений на другой планете (из-за высокого давления и температуры атмосферы посадочный аппарат разрушился на высоте 25 км). Его данные, в частности, показали, что атмосфера Венеры состоит на 90–95% из углекислого газа.

Примерно в это же время, в апреле 1964 г., было принято Соглашение о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях, более известное как программа «Интеркосмос». В рамках соглашения к сотрудничеству в области космических исследований и (позже) пилотируемых полетов приглашались социалистические страны — участники Совета экономической взаимопомощи, а также Куба. Келдыш был непосредственным инициатором создания такой кооперации. Благодаря его работе впоследствии были реализованы программа «Союз—Аполлон», программа ЭПАС (полеты зарубежных кос-

монавтов на отечественных орбитальных станциях), научные исследования на спутниках «Интеркосмос».

Столь бурное развитие космонавтики и космической деятельности привело Келдыша к мысли о создании нового института, который должен объединить в своих стенах все направления космических исследований с помощью автоматических космических аппаратов и стать головным учреждением, координирующим выполнение космической научной программы СССР. Вероятно, не в последнюю очередь такому решению способствовал тот факт, что вторая космическая держава — США — к этому времени уже создала мощную организацию для координации «гражданского космоса» — Национальное агентство по авиации и исследованию космического пространства, или всем известное сегодня НАСА. Понимая необходимость противопоставить конкурирующей стороне сравнимую по потенциалу организацию, Келдыш начал говорить о создании единого координирующего центра для научной космической программы СССР.

Впрочем, даже если оставить в стороне соображения политики, необходимость определенной реорганизации космических исследований была очевидна: в первые годы полетов эксперименты проводили отдельные научные группы из разных институтов, заинтересованные в той или иной научной теме и часто различавшиеся по самому подходу к космическим изысканиям.

Как родился наш институт

Фактически идея создания единого координирующего центра была высказана довольно рано: в 1959 г., в докладной записке для правительства, которую подписали Келдыш и Королев, содержалось предложение о создании «достаточно развитой науч-



А.С.Елисеев, М.В.Келдыш, Б.Н.Петров, А.Н.Милицын, В.С.Авдудевский в Центре управления полетом.



Институт космических исследований АН СССР — здание на пересечении улиц Профсоюзной и Обручева.

но-исследовательской и проектной организации с экспериментальной производственной базой и комплексом необходимых лабораторий и стендовых установок». Такая организация была названа Институтом межпланетных исследований, и предполагалось, что в нем могут официально участвовать социалистические страны. Кроме того, высказывалась мысль, что «подобная организация могла бы стать в дальнейшем научным центром международного значения по исследованию космического пространства».

Организация подобного рода была вначале создана в области пилотируемых полетов: в 1963 г. по инициативе Келдыша и Королева организуется Институт медико-биологических проблем, целью которого было проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по медико-биологическому обеспечению пилотируемых космических объектов и фундаментальных исследований в области космической биологии и медицины. Но в области непилотируемой космонавтики такая организация все еще отсутствовала.

В 1963 г. идея воплотилась в замысле Объединенного института космических исследований. Слово «объединенный» в данном случае обозначало то

обстоятельство, что под крышей одного института планировалось объединить научные группы из различных институтов, которые по факту уже вели эксперименты в космосе. Однако речь шла не о механическом соединении отдельных коллективов, а о своего рода «сплавлении» различных подходов и научных культур для появления новой — «космической» — области исследований, где теоретический подход к вопросам органично сочетался бы с пониманием технической осуществимости задачи. Иными словами, от специалистов нового института требовалось не только уметь анализировать данные научных приборов на космических аппаратах, но и создавать эти приборы, разрабатывать методику эксперимента и ставить задачи для космической промышленности.

«Основной задачей института должно быть систематическое исследование космического пространства с помощью унифицированных малых (а в дальнейшем и более тяжелых) искусственных спутников Земли, создаваемых нашей промышленностью, — писал Келдыш. — При этом институт будет разрабатывать и изготавливать научную аппаратуру, монтировать ее на серийно изготавливаемые летательные аппараты, прово-

дить весь цикл испытаний, подготавливать их к запуску и участвовать в запусках».

Замысел Келдыша был реализован через два года. Институт космических исследований в составе Академии наук СССР был создан на основании постановления Совета министров о создании ИКИ от 15 мая 1965 года. Его первым директором был назначен Г.И.Петров, выходец из Реактивного НИИ (НИИ-1).

Идея Мстислава Всеволодовича о «правильном котле» нового института оказалась в целом весьма плодотворной. Соединение различных подходов дало возможность ставить широкий спектр экспериментов, от исследований атмосфер планет до регистрации гамма-всплесков и от изучения плазменной обстановки вблизи Земли до постановки экспериментов в области навигации и баллистики.

Дальнейшая история советских космических исследований с помощью автоматических средств включала множество удачных экспериментов: первую успешную мягкую посадку на Луну, возврат грунта и работа луноходов, исключительно удачные экспедиции по исследованию Венеры, благодаря которым полностью изменились наши представления об этой планете. Ее изучению Келдыш придавал особое значение. Так, по его



Первая панорама поверхности Венеры, полученная с помощью космических аппаратов «Венера-9» и «Венера-10».

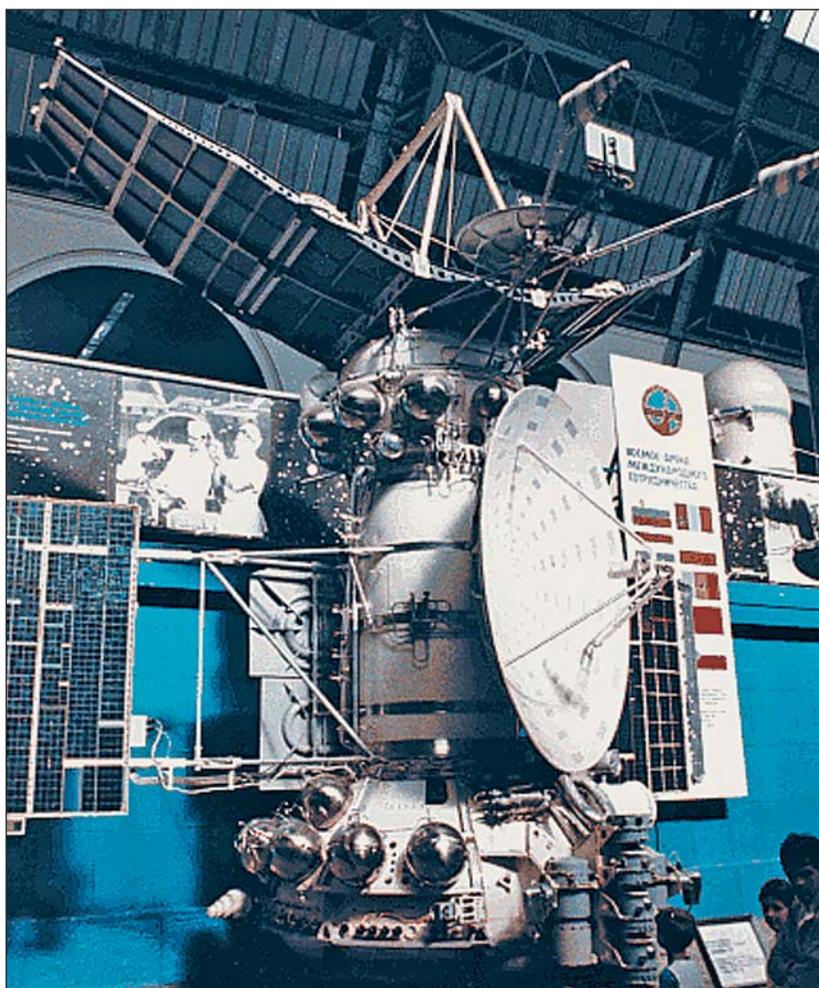
инициативе очередной аппарат «Венера-8» (1972) был посажен на видимый серп планеты, чтобы измерить ее освещенность и понять, можно ли производить съемки на венерианской по-

верхности. После этого эксперимента было задумано новое поколение аппаратов, главной задачей которых ставилось получение панорамы поверхности (успешно осуществлено уже на

космических аппаратах «Венера-9» и «Венера-10»).

Полеты к Марсу были менее удачны, в этой области советские ученые сильно проигрывали американцам. Впрочем, в СССР по экономическим причинам не было возможности соревноваться с американцами по широкому фронту, и Келдыш справедливо считал, что разумно выбрать одно относительно узкое направление и сконцентрировать усилия на нем. Таким направлением и стало изучение Венеры.

Так, Мстислав Всеволодович поддержал предложение Института радиоэлектроники АН СССР о картографировании поверхности Венеры с помощью радиолокационной аппаратуры с орбиты искусственного спутника Венеры. К сожалению, сам он уже не смог увидеть результатов этого пионерского эксперимента, который был успешно выполнен в 1983—1984 гг. с помощью космических аппаратов «Венера-15» и «Венера-16». Также Келдыш не смог стать свидетелем успеха проекта ВЕГА в 1986 г. — объединенного проекта по исследованию Венеры и кометы Галлея, в рамках которого на планету были доставлены два атмосферных баллона. Они дрейфовали в венерианской атмосфере около 48 ч и передали большой объем данных о ее параметрах (давлении, скорости и направлении ветра). Это тем более печально, что Мстислав Всеволодович активно поддерживал идею по-



Космический аппарат типа «Венера-15» и «Венера-16», предназначенный для радиолокационного картирования Венеры и изучения ее атмосферы с помощью ИК-спектрометра.

добного эксперимента и был очень заинтересован в его реализации.

Верим: продолжение следует

Сейчас, по прошествии более чем 50 лет с начала космической эры, можно сказать, что в целом тот путь развития отечественной космонавтики, и в особенности космических исследований в интересах фундаментальных наук, который был сформулирован Мстиславом Всеволодовичем Келдышем, оказался эффективным. Его определяющими чертами были строгий выбор приоритетов в условиях ограниченных ресурсов и открытость для международного сотрудничества. Из-за ограниченного объема статьи мы практически не вспомнили о таких важнейших программах, как «Союз—Аполлон», а также о совместных полетах советских и зарубежных космонавтов по программе «Интеркосмос» и участии зарубежных ученых в советских экспериментах. При этом, говоря о зарубежном участии, мы имеем в виду не только страны СЭВ: активное участие в экспериментах, проводимых СССР, принимала, в частности, Франция, с которой (первой из западных стран) в 1966 г. было подписано Межправительственное соглашение о сотрудничестве в области исследования и использования космического пространства в мирных целях. Келдыш немало способствовал заключению этого соглашения.

Сегодня, когда ситуация с финансированием научных исследований (и космической науки в частности) продолжает оставаться сложной, принципы работы, сформулированные Келдышем, по-прежнему актуальны.

В России в настоящее время готовится несколько космических проектов. В их числе важнейшее место занимает проект «Фобос-Грунт» по исследованию Фобоса, спутника Марса, и до-

ставке его вещества на Землю. Этот проект позволяет решить несколько важных научных задач. Во-первых, планируется уточнить строение и состав Фобоса, что важно для понимания его происхождения. Во-вторых, исследователи рассчитывают проникнуть в историю формирования Солнечной системы, так как этот марсианский спутник, скорее всего, состоит из реликтового вещества, из которого образовывались тела Солнечной системы и которое не прошло через процессы трансформации в недрах крупных планет. Наконец, в-третьих, доставка вещества Фобоса на Землю станет первым в истории человечества экспериментом по возврату грунта с другой планетной системы. Таким образом, «Фобос-Грунт» представляет собой комплексный эксперимент, сочетающий актуальность научной задачи и новизну технической реализации. В проекте активно участвуют зарубежные ученые из Европы и Китая.

Кроме того, сейчас в России готовятся и другие проекты по исследованию Солнечной системы. Это, прежде всего, проекты по дальнейшему изучению Луны, на которой, по последним данным, могут находиться залежи водяного льда. Российские ученые планируют вернуться и на Венеру — уже с долгоживущим посадочным аппаратом, который позволит проводить измерения на поверхности в течение нескольких часов (проект «Венера-Д»). И, кроме визитов к «ближним соседям» Земли, в России начинается проработка возможного полета посадочного аппарата к Европе, спутнику Юпитера. Этот проект, с одной стороны, являет собой развитие идеи посадочных аппаратов, которая начала успешно развиваться почти 50 лет назад, в том числе по инициативе Келдыша, а с другой — знаменует собой качественно новый этап российских планетных программ.

Однако, завершая статью, хочется сказать не только о науч-



Спутник Марса Фобос вблизи поверхности планеты. Изображение получено аппаратом «Фобос-2», запущенным в 1988 г.

ных и организаторских талантах Келдыша. Не менее важно то, что ученый всегда подчеркивал необходимость использования достижений науки в практической жизни. И космические исследования не были исключением. Хотя непосредственная польза от изучения других планет, вероятно, — дело даже не завтрашнего, а послезавтрашнего дня, Келдыш хорошо понимал, что такие эксперименты — часть международного престижа государства и важнейший стимул для развития самых разнообразных областей знаний. Сам Мстислав Всеволодович так говорил о космических исследованиях: человечество вступило в новую эпоху овладения сокровенными тайнами природы, и знания, которые мы получим в глубинах космоса, будут использованы для улучшения жизни на Земле.

К этим словам сложно прибавить что-либо, но все же рискнем показаться многословными. Возможно, сегодня такие фразы покажутся не по-романтически деловыми, однако именно в деловом отношении к познанию важнейших загадок Вселенной и скрыта истинная романтика первых десятилетий космической эры — времени, героем которого, безусловно, был М.В.Келдыш. ■

Математический портрет

А.И.Аптекарев,

доктор физико-математических наук

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

Математическое творчество — ярчайшая грань личности Мстислава Всеволодовича Келдыша. Его высокий потенциал математика-аналитика определил успех прикладных проектов, которым он посвятил важнейшую часть своей жизни. В то же время многие его теоретические математические исследования были мотивированы и постоянно подпитывались прикладными задачами.

«Подъемная сила» Келдыша

Показательным примером этого взаимодействия теории и практики были работы М.В.Келдыша по комплексному анализу. В конце 20-х — начале 30-х годов прошлого века, в годы его становления как молодого ученого-математика, методы теории функций комплексной переменной широко использовались для решения двумерных задач механики сплошной среды, позволяя получать многие ответы в явном виде. Именно с такими задачами столкнулся двадцатилетний Слава по окончании физико-математического факультета Московского университета, поступив на работу в Центральный аэрогидродинамический институт (ЦАГИ) им.Н.Е.Жуковского.

В те годы самолетостроение ставило перед математиками наиболее сложные и привлекательные задачи. Конформные отображения, квазилинейные эллиптические уравнения — вот аппарат, использованный для исследования дозвукового обтекания летальных аппаратов. В ЦАГИ, работая над конкретными «производственными» задачами, Мстислав Всеволодович получил первые фундаментальные результаты в теории неустановившегося движения крыла (проблема флаттера), теории удара тела о жидкость, теории движения тел над поверхностью жидкости и теории обтекания тела сжимаемым потоком. Среди этих результатов — вывод точных (в замкнутом виде) формул для определения аэродинамических сил, действующих на колеблющееся крыло; открытие новой «тянущей» силы, возникающей при определенных режимах колебаний крыла; пионерское исследование влияния сжимаемости газа на аэродинамику обтекания; решение задачи о гребном винте и об

автоколебаниях самоориентирующегося переднего колеса самолета (проблема шимми шасси) и многих других задач.

Первая научная публикация М.В.Келдыша [1] (совместно с Ф.И.Франклем), вышедшая в 1934 г., озаглавлена «Внешняя задача Неймана* для нелинейных эллиптических уравнений с применением к теории крыла в сжимаемом газе». Эта математическая по названию и по сути работа содержит в качестве итогового результата обоснование формулы Жуковского для случая обтекания профиля дозвуковым потоком *сжимаемого* газа, что имело большое прикладное значение. Тем самым, обобщена на сжимаемый случай известная теорема Жуковского о подъемной силе (имевшая дело с несжимаемой жидкостью). Приведем формулировку нового варианта этой теоремы.

Теорема (Келдыш—Франкль, 1934 г. [1]). *На сечении крыла (ограниченное контуром C), находящееся в потоке сжимаемого газа, действует подъемная сила, задаваемая формулой*

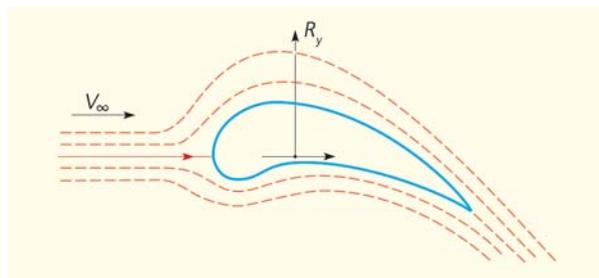
$$R_y = \rho_\infty V_\infty \Gamma,$$

где ρ_∞ и V_∞ — плотность и полная скорость потока вдали от крыла, а

$$\Gamma = \oint_C V_s ds —$$

— интеграл от касательных составляющих V_s вектора скорости V вдоль контура C , называемый циркуляцией потока.

* Задача Неймана — краевая задача для дифференциального уравнения с заданными граничными условиями для производной искомой функции. В задачах обтекания искомая функция — потенциал течения, производная от которого есть скорость потока. Равенство нулю скорости потока на поверхности обтекаемого тела (условие непротекания) формирует граничное условие Неймана.



Подъемная сила.



Доклад по газовой динамике. 1944 г.

Проблема доказательства формулы Жуковского для случая обтекания сжимаемым газом сыграла исключительную роль в истории математики и механики, а работа Келдыша во всей этой проблематике имеет фундаментальное значение. В самом деле, когда с ростом скоростей полета самолетов стала актуальной задача учета сжимаемости воздуха, математики обратились прежде всего к исследованию потенциальных (безвихревых, т.е. когда существует потенциал ϕ , выражающий скорость потока по формуле $V = \text{grad } \phi$) плоских дозвуковых течений. Но при этом перед ними возникала существенная трудность — нелинейный, а точнее, квазилинейный характер уравнений (относительно потенциала ϕ), описывающих эти течения. В то время, когда писалась работа Келдыша, теория квазилинейных эллиптических уравнений и систем уравнений только начинала строиться. Задача об обтекании тела потоком сжимаемого газа стимулировала интерес математиков к задаче Неймана для эллиптических квазилинейных уравнений, и уже спустя десятилетия после работы Келдыша возникла масса работ в этой области. В свою очередь, исследование квазилинейных эллиптических систем вызвало к жизни замечательную теорию квазиконформных отображений.

В настоящее время обоснование формулы Жуковского в более широком диапазоне чисел Маха*, чем в работе Келдыша, получено с помощью мощных топологических методов, которые еще не были созданы, когда писалась работа [1]. Эта история с распространением формулы Жуковского на случай обтекания сжимаемым газом показывает, сколь плодотворно сотрудничество математики и приложений, и сколь важно для приложе-

* Числом Маха называется отношение скорости потока газа к скорости звука в этом газе.

ний умение использовать самые современные достижения математики.

Возвращаясь к работе [1], нужно сказать, что для своего времени она основана на самой передовой математической технике. Эта работа впоследствии имела многочисленные продолжения, когда специалисты по газовой динамике учитывали сжимаемость при решении тех или иных задач, отыскивая решение в виде ряда по степеням числа Маха, как это делал Келдыш. До него таким приемом пользовался Рэлей (Дж.У.Стретт, лорд Рэлей), но тот строил в явном виде несколько первых членов ряда, а вопрос о сходимости не затрагивал. У Келдыша же вопрос о сходимости — основной. Из всего сказанного ясно, что уже первая работа Мстислава Всеволодовича имеет фундаментальный, основополагающий характер и в то же время — непосредственное приложение к практическим вопросам.

Сага о равномерных приближениях функций в комплексной области

Закономерным итогом этих плодотворных прикладных работ стало поступление в 1934 г. молодого инженера из ЦАГИ Мстислава Келдыша в аспирантуру-докторантуру Математического института АН СССР к профессору М.А.Лаврентьеву для более углубленных теоретических исследований в комплексном анализе. Здесь им были получены важные результаты в теории конформных отображений, в теории краевых задач для гармонических функций, в теории приближений аналитических и гармонических функций. Остановимся поподробнее на классической теореме Келдыша, в которой окончательно решается вопрос о равномерных полиномиальных приближениях на замкнутых областях. Во всей почти 150-летней истории исследований по равномерным приближениям теорема Келдыша занимает узловое место.

Начинается история в 1885 г., когда К.Вейерштрасс доказал, что любая непрерывная функция $f(x)$, заданная на компакте $K \subset \mathbb{R}$ (т.е. замкнутом и ограниченном подмножестве K действительной оси \mathbb{R}) может быть равномерно приближена многочленами P , т.е., на кратком языке математических символов,

$$\forall \varepsilon > 0 \exists P: \|f - P\|_{C(K)} := \max_{x \in K} |f(x) - P(x)| < \varepsilon.$$

Здесь использованы стандартные обозначения: пространства $C(K)$ — пространства непрерывных на компакте K функций $f \in C(K)$; пространства $\mathcal{P}[x]$ — пространства всех многочленов от переменной x , т.е. $P := \sum a_k x^k \in \mathcal{P}[x]$. Введем еще замыкания $\bar{\mathcal{P}}[x]$ пространства многочленов по чебышевской норме $\| \cdot \|_{C(K)}$ — совокупность всех функций $\{f\}$, которые могут быть приближены многочленами. Тогда можно записать:

Теорема (Вейерштрасс, 1885 г. [2]).

$$K \subset \mathbb{R} \Leftrightarrow C(K) = \bar{P}[x], \quad x \in \mathbb{R}.$$

Заметим, что доказательство теоремы Вейерштрасса допускает ее простое обобщение с действительной переменной на векторную — на многомерные евклидовы пространства \mathbb{R}^n . Справедливо

$$K \subset \mathbb{R}^n \Leftrightarrow C(K) = \bar{P}[\mathbf{x}], \quad \mathbf{x} := (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n.$$

Однако при всей геометрической схожести комплексной плоскости $\mathbb{C} := \{z = x + iy\}$ и двумерного векторного пространства $\mathbb{R}^2 := \{\mathbf{x} = (x, y)\}$, $x, y \in \mathbb{R}$, даже школьнику нетрудно усмотреть, что пространство многочленов $P(z) := \sum a_k z^k \in \mathcal{P}[z]$ комплексной переменной $z = x + iy$ оказывается довольно-таки «тощим» подмножеством пространства многочленов двух переменных $P(x, y) := \sum \sum a_{kl} x^k y^l \in \mathcal{P}[\mathbf{x}]$; т.е. $\mathcal{P}[z] \subset \mathcal{P}[\mathbf{x}]$, $z \in \mathbb{C}$, $\mathbf{x} \in \mathbb{R}^2$.

Поэтому приближение многочленами комплексной переменной (специфического вида функциями) необязательно возможно во всех тех случаях, когда возможно приближение многочленами от двух действительных переменных (функциями более общего вида). Выяснить, при каких условиях, наложенных на компакт $K \subset \mathbb{C}$ и функцию $f \in C(K)$, это получается, было принципиально важной задачей.

Существенно продвинулся в этой задаче М.А.Лаврентьев. Он доказал теорему, содержащую реально широкое обобщение классического результата Вейерштрасса: для того, чтобы любая $f \in C(K)$ допускала равномерное приближение многочленами комплексной переменной на компакте $K \subset \mathbb{C}$, необходимо и достаточно, чтобы компакт K не имел внутренних точек (множество внутренних точек \mathring{K} пусто) и его дополнение K^c было связным (т.е. $K^c := \bar{\mathbb{C}} \setminus K$ — область, что по определению означает открытое связанное множество). Кратко это может быть записано так:

Теорема (Лаврентьев, 1934 г. [3]).

$$K \subset \mathbb{C} : K^c \text{ — область и } K^c = \emptyset \Leftrightarrow C(K) = \bar{P}[z], \quad z \in \mathbb{C}.$$

Отсутствие внутренних точек и связность дополнения в компакте Лаврентьева делает его топологически похожим на одномерный компакт Вейерштрасса $K \subset \mathbb{R}$.

Что же можно было сказать о приближениях на компактах $K \subset \mathbb{C}$ с уже нетривиальной внутренностью $\mathring{K} \neq \emptyset$? Еще сам Вейерштрасс доказал, что функция f , являющаяся пределом равномерно сходящейся на компакте $K \subset \mathbb{C}$ последовательности многочленов, обязана быть аналитической* в каждой

* Аналитическая в области $D \subset \mathbb{C}$ функция $f(z)$ имеет в каждой точке этой области комплексную производную, т.е.

$$\exists \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{f(z + \Delta z) - f(z)}{\Delta z}, \quad \forall z \in D.$$

Аналитические функции обладают многими замечательными свойствами.

внутренней точке этого компакта $K: f \in \mathcal{A}(\mathring{K})$. Это обстоятельство, во-первых, показывает, что внутри компакта не может быть «дырок», потому что любая аналитическая функция с сингулярностями в этих дырках, очевидно, не может быть приближена на компакте многочленами. Следовательно, условие связности дополнения K , т.е. то, что K^c есть область, — необходимое условие возможности приближений на этом компакте. Второе следствие только что упомянутой теоремы Вейерштрасса об аналитичности предела для приближений на компактах с непустой внутренностью $\mathring{K} \neq \emptyset$ — необходимость аналитичности приближаемой функции во внутренних точках компакта.

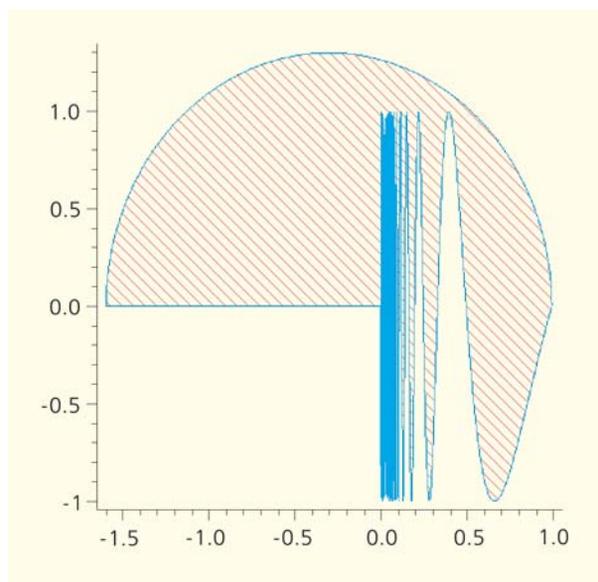
Первые результаты о приближении многочленами аналитических функций в односвязных областях (и их непересекающихся объединениях) были получены К.Рунге [4] (еще во времена Вейерштрасса). Теорема Рунге была распространена Дж.Л.Уолшем на односвязные компакты $K = \mathring{K} \cup \partial \mathring{K}$, являющиеся замыканием жордановых областей (т.е. граница $\partial \mathring{K}$ есть замкнутая жорданова кривая, другими словами, она есть взаимно однозначный образ окружности).

Теорема (Рунге, 1885 г., Уолш, 1926 г.). Пусть $K \subset \mathbb{C} : \mathring{K}$ — жорданова область. Тогда

$$K^c \text{ — область} \Leftrightarrow C(K) \cap \mathcal{A}(\mathring{K}) = \bar{P}[z], \quad z \in \mathbb{C}.$$

Недостатком этой теоремы было требование жордановости внутренности компакта K . В то время, когда Келдыш занимался этой задачей, в связи с успехами метрической теории функций особый интерес представляли области с общими, необязательно жордановыми, границами.

Ему удалось убрать это принципиальное ограничение в теореме Рунге—Уолша. Ставшая уже



Пример нежордановой области. Часть границы описывается функцией $\sin(1/x)$.

классической теорема Келдыша формулируется просто: любая функция, непрерывная на замыкании области и аналитическая на множестве его внутренних точек, представима равномерно сходящимся рядом полиномов в том и только том случае, когда дополнение к замыканию области есть область, содержащая бесконечно удаленную точку. Кратко это, опять же, может быть записано так:

Теорема (Келдыш, 1945 г. [5]). Пусть $K \subset \mathbb{C} : \dot{K}$ — область. Тогда

$$K^c \text{ — область} \Leftrightarrow \mathcal{C}(K) \cap \mathcal{A}(\dot{K}) = \bar{P}[z], z \in \mathbb{C}.$$

Следует подчеркнуть, что теорема Келдыша легла у истоков множества последующих исследований по проблемам, выросшим на реальной почве теории приближений и уходящим своими интересами далеко за ее пределы — в алгебру, функциональный анализ: достаточно назвать в качестве одного примера бурно развивающуюся в настоящее время теорию банаховых алгебр*. Заложенная в доказательстве теоремы идея усреднения оказалась весьма плодотворной и позволила в конечном счете дать полное решение общей задачи о том, на каких множествах и к каким функциям могут равномерно сходиться полиномы.

Точку в проблеме характеристики компактов K , допускающих равномерное приближение многочленами непрерывных на K и аналитических внутри \dot{K} функций, поставил ученик (аспирант) Келдыша — С.Н.Мергелян, объединивший в одной формулировке обе теоремы — Лаврентьева и Келдыша. Окончательный результат формулируется так:

Теорема (Мергелян, 1951 г., [6]).

$$K \subset \mathbb{C} : K^c \text{ — область} \Leftrightarrow \mathcal{C}(K) \cap \mathcal{A}(\dot{K}) = \bar{P}[z], z \in \mathbb{C}.$$

Тем самым работами Лаврентьева, Келдыша и Мергеляна была решена очень трудная и важная задача характеристики в терминах компактов K класса аналитических функций $\mathcal{C}(K) \cap \mathcal{A}(\dot{K}) = \bar{P}[z]$.

Но на этом история не закончилась. Оставался открытым вопрос более общего характера о возможности приближения рациональными функциями (отношением двух многочленов):

$$\mathcal{R}[z] := \left\{ \frac{P(z)}{Q(z)} \mid P, Q \in \mathcal{P}[z], z \in \mathbb{C} \right\}$$

на компактах комплексной плоскости $K \subset \mathbb{C}$. Ясно, что чем шире класс «аппроксимантов» (в рассматриваемой ситуации $\mathcal{P}[z] \subset \mathcal{R}[z]$), тем больше возможностей расширить класс компактов, на которых возможны равномерные приближения. Вспомним, как мы объясняли для приближений многочленами необходимость отсутствия «дырок» в компакте (т.е. необходимость условия K^c —

* Банаховы пространства, снабженные операцией умножения, называются банаховыми алгебрами. Наглядный пример — бесконечномерные полное пространство непрерывных функций $\mathcal{C}(K)$ с обычным умножением.

область). Аргументация была такая: многочлены, приближая функцию на компакте должны сходиться к аналитической функции и в «дырках», что вступает в противоречие с возможным наличием там у приближаемой функции сингулярностей. Теперь же рациональные приближения сами имеют сингулярности — полюсы, которые могут размещаться в «дырках», снимая указанное противоречие.

Действительно, в отмечавшемся выше исследовании [4], Рунге снял необходимое условие « K^c — область» для приближений рациональными функциями, но при этом класс приближаемых функций им был существенно сужен до функций аналитических на всем компакте K , а не только на его внутренности \dot{K} .

Теорема (Рунге, 1885 г. [4]).

$$\forall K \subset \mathbb{C} \Rightarrow \mathcal{A}(K) = \bar{\mathcal{R}}[z], z \in \mathbb{C}.$$

Таким образом, основная проблема в приближениях рациональными функциями заключается в эквивалентном описании в терминах компактов K класса аналитических функций $\mathcal{C}(K) \cap \mathcal{A}(\dot{K}) = \bar{\mathcal{R}}[z]$.

Принципиальные трудности в этой задаче по сравнению с аналогичной задачей для приближений многочленами возрастали. Более того, примеры показывали, что рассчитывать на такую простую (как в случае многочленов) геометрическую формулировку результата не приходится. Например, было замечено, что хотя и наличие «дырок» в компакте не является препятствием для приближений рациональными функциями, тем не менее, если «дырок» бесконечное число и они «выгрызают» всю внутренность компакта, то можно построить компакт K такой, что

$$\mathcal{C}(K) \cap \mathcal{A}(\dot{K}) \neq \bar{\mathcal{R}}[z].$$

Такой компакт называют швейцарским сыром, в честь построившей его впервые в 1938 г. швейцарского математика А.Рот. Этот и другие примеры давали свидетельства того, что для возможности рациональных приближений придется требовать, чтобы дополнение компакта K было в каком-то смысле интенсивным. Это свойство компакта K удалось охарактеризовать в терминах аналитической емкости дополнений множества и его внутренности. Решена эта задача была в 1966 г. А.Г.Витушкиным.

Прежде чем сформулировать теорему Витушкина, приведем определение аналитической емкости множества. В 1947 г. Л.Альфортс ввел следующую количественную характеристику ограниченного множества E :

$$\gamma(E) := \sup_f \left\{ \lim_{z \rightarrow \infty} |z(f(z) - f(\infty))| : \exists \tilde{E} \subseteq E, f \in \mathcal{A}(\mathbb{C} \setminus \tilde{E}), \|f\|_{\mathcal{C}(E)} \leq 1 \right\}.$$

Впоследствии эту характеристику стали называть аналитической емкостью. Емкости в математике — это инструмент измерения множеств,

которые нельзя измерить привычными мерами, такими как длина или площадь. Наиболее известная емкость для измерения плоских множеств — гармоническая емкость (обозначается $\text{cap}(E)$)*. Для «приличных» множеств E (ну, например, компакта, ограниченного жордановой кривой конечной длины) емкость $\text{cap}(E)$ соизмерима с длиной границы ∂E . Гармоническая емкость круга равна его радиусу, а гармоническая емкость отрезка равна четверти его длины. Но для «патологических» множеств все не так. Широко известное в математике множество Кантора имеет нулевую длину (нулевую линейную меру), но гармоническая емкость у него положительна. По-другому устроена аналитическая емкость. Она всегда меньше линейной меры (длины границы множеств), причем существуют множества с положительной длиной границы, но имеющие нулевую аналитическую емкость. Хотя, опять же, для «приличных» множеств E (в данном случае — для E связных и замкнутых) аналитическая емкость равна гармонической: $\gamma(E) = \text{cap}(E)$.

В 1962 г., в связи с задачами рациональных аппроксимаций, Е.П. Долженко уточнил понятие аналитической емкости, определив так называемую аналитическую C -емкость

$$\alpha(E) := \sup_f \left\{ \lim_{z \rightarrow \infty} |z(f(z) - f(\infty))| : \exists \tilde{E} \subseteq E, \right. \\ \left. f \in \mathcal{A}(\bar{C} \setminus \tilde{E}) \cap \mathcal{C}(\mathbb{C}), \|f\|_{\mathcal{C}(\mathbb{C})} \leq 1 \right\}.$$

Именно в терминах аналитической C -емкости удалось выразить необходимые и достаточные условия на компакт K , позволяющие равномерно приближать функции из класса $\mathcal{C}(K) \cap \mathcal{A}(\overset{\circ}{K})$ рациональными функциями.

Теорема (Витушкин, 1966 г. [7]). \forall открытого круга $D \subset \mathbb{C}$

$$\alpha(D \setminus K) = \alpha(D \setminus \overset{\circ}{K}) \Leftrightarrow \mathcal{C}(K) \cap \mathcal{A}(\overset{\circ}{K}) = \bar{R}[z], z \in \mathbb{C}.$$

Надо признать, что использование этой теоремы для получения геометрических критериев приближаемости наталкивается на трудность вычисления аналитической емкости. Оставался вопрос о метрико-геометрическом описании самой емкости. Одна из вопиющих по простоте постановки проблема оставалась открытой до самого последнего времени: *является ли аналитическая емкость полуаддитивной*, т.е. существует ли абсолютная константа $c > 0$ такая, что для любых двух компактов K_1, K_2 выполняется

$$\gamma(K_1 \cup K_2) \leq c(\gamma(K_1) + \gamma(K_2))?$$

Другая знаменитая проблема, порожденная аналитической емкостью, связана с метрической характеристикой множеств устранимых особенностей аналитических функций (так называемая

проблема Пенлеве). Компактное подмножество K комплексной плоскости \mathbb{C} называется *множеством устранимых особенностей для ограниченных аналитических функций*, если любая функция, ограниченная и аналитическая в $G \setminus K$, где G — некоторая окрестность K , допускает аналитическое продолжение на все G . Еще Альфорс заметил, что нулевая аналитическая емкость $\gamma(K) = 0$ есть необходимое и достаточное условие того, чтобы компакт K был множеством устранимых особенностей. Таким образом, проблема Пенлеве заключалась в метрической характеристике множеств нулевой аналитической емкости.

Можно сказать, что последний штурм в доказательстве полуаддитивности аналитической емкости и решении проблемы Пенлеве начался на рубеже XX и XXI вв. В 1995 г. М.С. Мельников заметил [8] следующее элементарное геометрическое свойство ядра Коши:

$$\sum_{\sigma} \frac{1}{(z_{\sigma(1)} - z_{\sigma(2)})(\bar{z}_{\sigma(1)} - \bar{z}_{\sigma(3)})} = \frac{1}{R^2(z_1, z_2, z_3)},$$

где z_1, z_2, z_3 — три различные точки \mathbb{C} , $R(z_1, z_2, z_3)$ — радиус окружности, проходящей через эти три точки, а суммирование ведется по всем перестановкам σ трех элементов $\{1, 2, 3\}$ (всего таких слагаемых шесть). Основываясь на этом замечательном тождестве, он ввел понятие «кривизна меры» μ

$$c^2(\mu) = \iiint \frac{1}{R^2(z, v, w)} d\mu(z) d\mu(v) d\mu(w),$$

и получил первые метрические оценки аналитической емкости снизу. Затем испанский математик К.Толса, используя «тяжелую артиллерию» теории сингулярных интегралов Кальдерона—Зигмунда и функциональный анализ, установил, что на множествах ненулевой аналитической емкости существуют меры с ограниченным (на дополнении) потенциалом Коши. Далее в дело пошли оценки, связанные с кривизной этой меры. В итоге в 2003 г. Толса завершил более чем столетнюю эпопею, опубликовав решение проблемы Пенлеве и доказательство полуаддитивности аналитической емкости [9] в журнале «Acta Mathematica» (примечательно, что в том же самом журнале, где в 1885 г. была опубликована упоминавшаяся работа К.Рунге [4], — чем не свидетельство настоящей «аристократической генеалогии» математики!). Это достижение Толсы было отмечено премией Европейского математического общества 2004 г. (вручаемый раз в четыре года европейский аналог медали Филдса). Кстати, в тот же год другим лауреатом этой престижной математической награды стал С.Смирнов (Филдсовский медалист 2010 г.), получивший свою награду за приложения самых последних достижений комплексного анализа, в частности теории квазиконформных отображений. И здесь, на новом витке научной спирали, как бы замыкается цикл: снова вспоминаются истоки — келды-

* Гармоническая емкость — это обычная двумерная электростатическая емкость, когда множество на плоскости рассматривается как проводник, и его емкость характеризует способность накапливать электрический заряд.

шевские работы по теории квазилинейных эллиптических уравнений.

Завершим это короткое эссе о теореме Вейерштрасса и аналитической емкости следующим замечанием. Конечно, комплексный анализ — лишь часть (безусловно, одна из очень красивых) современной математики, и проблема равномерных приближений в комплексной области — лишь эпизод (безусловно, один из интереснейших и интригующих) в комплексном анализе. Теорема Келдыша о возможности полиномиальных приближений в замыкании области — шаг (безусловно, этапный) в общем решении проблемы приближений. С другой стороны, эта теорема — лишь один результат в ряду важных достижений Келдыша в комплексном анализе, занятия которым составляли лишь часть его многогранного математического творчества. В итоге эта суперпозиция частностей убеждает, что талант и сила личности Мстислава Всеволодовича, его вовлеченность в решение самых трудных, глубоких, известных и красивых математических задач, его достижения и его успешность, как в математике, так и в науке в целом — все это привлекало к исследованиям в комплексном анализе сильнейших отечественных математиков. Тем самым влияние, которое оказал Келдыш на отечественную математическую школу, соизмеримо с его вкладом в реализацию космических достижений нашей страны.

Последняя математическая работа

Математическому наследию Келдыша посвящено несколько серьезных обзоров — например, приуроченная к шестидесятилетию Мстислава Всеволодовича статья [10] в журнале «Успехи математических наук», а также работа [11]. Здесь, в коротком очерке, мы остановились лишь на его первой научной публикации и вкладе в увлекательную историю равномерных приближений на компактах комплексной плоскости. Конечно, хотелось бы обсудить и работы по разрешимости и устойчивости граничных задач (задач Дирихле) для гармонических функций, и многие другие замечательные результаты. Но, за недостатком места, адресуем интересующихся к упомянутым обзорам и перейдем к последней научной публикации Келдыша, которая имеет незаурядную историю. Если читатель далек от математики, он может пропустить следующие три абзаца, где кратко описана содержательная суть вопроса, или обратиться к помощи Википедии за определениями нескольких специальных (но для математика — фундаментальных) понятий.

При решении многих задач механики, физики, техники существенную роль играет спектральная теория линейных операторов, относящаяся как к самосопряженным, так и к несамосопряженным операторам (например, без них немислима кван-

товая механика). Именно к этим проблемам — к решению принципиально новых и весьма трудных вопросов теории несамосопряженных операторов — привели Келдыша его работы по теории колебаний систем с диссипацией механической энергии, имевшие большое прикладное значение. В отличие от классической спектральной теории самосопряженных операторов, теория несамосопряженных операторов с дискретным спектром, несмотря на усилия многих выдающихся математиков мира, развивалась медленно и до конца 40-х годов относилась в основном лишь к обыкновенным дифференциальным операторам с простейшими, так называемыми регулярными граничными условиями.

В 1951 г. Келдыш (в заметке журнала «Доклады Академии наук» СССР [12]) начал публикацию результатов своих исследований по спектральной теории несамосопряженных операторов. Он впервые рассматривает широкий класс абстрактных операторов в гильбертовом пространстве, зависящих от спектрального параметра — сейчас такие семейства операторов называют пучками Келдыша. Главными задачами здесь являются вопросы полноты собственных и присоединенных векторов и вопросы распределения собственных значений. Келдыш вводит важнейшее понятие *кратной* полноты системы собственных и присоединенных векторов — теперь ее называют кратной полнотой по Келдышу — и с помощью весьма тонких оценок резольвенты исследуемых операторов устанавливает фундаментальную теорему о кратной полноте. Вот одна из ее простейших версий.

Теорема (Келдыш, 1951 г. [11]). Пусть H — самосопряженный (неограниченный) оператор с дискретным спектром $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots$, действующий в гильбертовом пространстве \mathcal{L} , и пусть для некоторого $\rho > 0$ сходится ряд

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{|\alpha_k|^\rho} < \infty.$$

Тогда при любом линейном операторе B , таком, что оператор BH^{-1} вполне непрерывен, спектр оператора $H + B$ дискретен и система его корневых векторов полна.

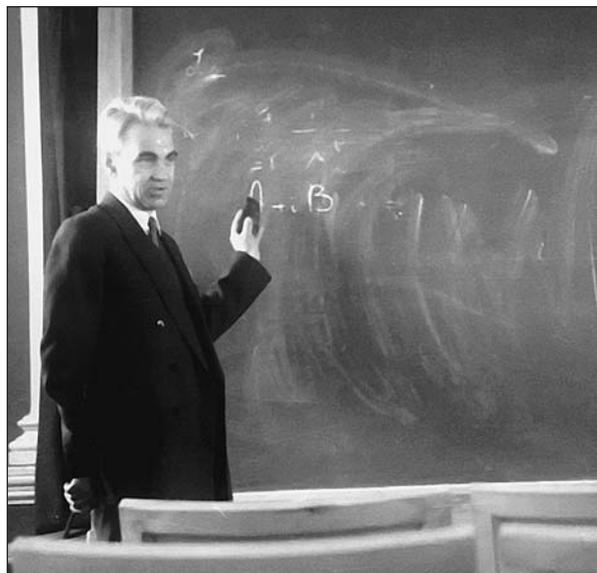
Для этой работы характерно глубокое проникновение тонких методов теории аналитических функций в теорию линейных операторов, что, как мы уже отмечали, типично для синтетического подхода Келдыша к математическим проблемам. А связанная с ней замечательная история такова. Свои исследования по спектральной теории несамосопряженных операторов Келдыш проводил в 1949—1950-х годах, подробно докладывая их результаты на семинарах в МГУ, заседаниях Московского математического общества. Он даже закончил рукопись с доказательствами теорем, которую предоставил в распоряжение широкого круга математиков. Как мы уже отмечали, была

сдана в печать заметка в ДАН с «первой порцией» формулировок. Но наступили 50-е, совсем другие математические задачи потребовали неотложного решения, и полное изложение этой теории оставалось неопубликованным.

Прошло 20 лет. На эти годы пришлось и скрытая завесой секретности работа в прикладных проектах, и изнуряющие обязанности официального лица в должности президента АН СССР (с 1961 г.). В 1971 г. Мстиславу Всеволодовичу исполнилось 60 лет. Научная и прочая общественность готовилась к юбилею президента Академии. Думали о подарке и в родном Институте прикладной математики. Возникла идея подготовить к публикации эти результаты Келдыша по несамоспряженным операторам. Идея всем понравилась. С энтузиазмом трудились И.М.Гельфанд, К.И.Бабенко, Н.Н.Ченцов, Р.П.Федоренко и другие соратники и ученики. Изучали рукопись Келдыша, обсуждали непонятные моменты в доказательствах, собирали конспекты слушателей докладов двадцатилетней давности (к сожалению, еще не функционировал знаменитый научный интернет-архив <http://arXiv.org/>, где современные математики складывают свои неопубликованные теории). В итоге подготовили статью [13] для журнала «Успехи математических наук». Все волновались, как Мстислав Всеволодович воспримет этот необычный подарок. Келдыш был очень растроган и попросил разрешения самому править корректуру статьи. Его авторство таким образом было «легитимизировано».

Фундамент модернизации страны

И напоследок, возможно, о самом главном. Когда холодная война поставила перед нашей страной задачи огромной государственной важности — овладение ядерной энергией, создание космического комплекса, — Мстислав Всеволодович Келдыш возглавил работы по математическому обеспечению этих программ. Решение подобных задач было бы невымыслимо без разработки новых подходов к научным исследованиям, без создания принципиально новых и высокоэффективных методов и средств математических расчетов. Трудности усугублялись и крайней ограниченностью имевшихся к тому времени средств вычислительной техники. Именно с Келдышем связано, прежде всего, становление в нашей стране современной прикладной и вычислительной математики. Не останавливаясь подробно на всех выполненных Келдышем исследованиях в этой области, отметим лишь публикацию 1954 г. «Решение задачи об осесимметричном движении газа с ударной волной» (совместно с К.И.Бабенко, И.М.Гельфандом, Н.А.Дмитриевым, О.В.Локуциевским и Н.Н.Ченцовым). Эта работа совершенно преобразовала тогдашнее представление о гра-



На защите докторской диссертации В.Б.Лидского, май 1959 г.

ницах возможного. Стало реальным решать не только краевые задачи для нелинейных уравнений газовой динамики, но и ее чрезвычайно трудные нестационарные задачи (разностными методами). Идеи и методы, заложенные в трудах Келдыша, предопределили современное развитие отечественной вычислительной математики, и в первую очередь численных методов решения многомерных задач гидро- и газодинамики и математической физики. Накопленный потенциал позволил с успехом решать эти задачи с учетом таких особенностей, как теплопроводность, диффузия, вязкость и химические реакции. Последующий бурный рост вычислительных методов коренным образом преобразовал общенаучное значение вычислительной математики и вывел ее из разряда подсобных средств исследования в самостоятельные науки, сделав могущественным средством эффективизации научного поиска, незаменимым при изучении сложных явлений механики, физики, техники и не только их.

Известно, что Келдыш лично не занимался научно-техническими проблемами конструирования новых электронно-вычислительных машин, однако роль его в становлении и развитии отечественной вычислительной техники весьма велика. Будучи одним из главных «потребителей» ЭВМ, он с исключительной ясностью сознавал их важность для дальнейшего успешного развития науки и общей, как сейчас это называют, модернизации страны. Зная лучше, чем кто-либо, задачи, подлежащие решению на ЭВМ, он мог лучше, чем кто-либо, формулировать и требования к новым машинам. Келдыш был как бы «главным государственным заказчиком» разрабатываемых в нашей стране вычислительных средств. Его заинтересо-

ванное, компетентное и критическое отношение к создаваемым ЭВМ и надведомственная научная идеология во многом способствовали выбору правильных путей развития соответствующей отечественной техники. Еще в годы возникновения наших первых ЭВМ он подчеркивал важность математических разработок в общем комплексе работ, указывая, что не столько элементная и техническая база, не столько инженерные схемные проработки, сколько математический замысел машины, идеи функциональной целесообразности должны лежать в основе и определять облик будущей машины. Он обращал особое внимание на необходимость непрерывного расширения работ по математическому обеспечению выпускаемых машин, указывая на стремительное увеличение доли математического обеспечения в общем балансе интеллектуальных и материальных затрат на их создание. (Остается только сожалеть, что в 80-е годы с нами уже не было такого страста — принятое в то время решение копировать американские образцы, по моему мнению, во многом предопределило наше компьютерное отставание.)

Еще в самом начале 50-х годов в МИАН им.В.А.Стеклова по инициативе Келдыша была создана группа, которая стала заниматься как теоретическими, так и практическими задачами программирования для ЭВМ. Это было время, когда наши известные первые «БЭСМ-1» и «Стре-

ла» еще не вошли в строй. Вместо них были расчетные бюро, где считали десятки девушек на электрических арифмометрах «Мерседес». В те же годы в МИАН под руководством Келдыша работали большие группы специалистов по вычислительной математике, и когда в 1953 г. из Математического института выделилось Отделение прикладной математики, в него все эти группы влились. Организация Отделения прикладной математики, впоследствии переименованного в Институт прикладной математики, — важная веха в развитии вычислительной математики/механики в нашей стране и крупная заслуга Келдыша. Будучи директором этого института, обремененный другими многочисленными обязанностями, Мстислав Всеволодович тем не менее сумел внести огромный личный вклад в развитие указанных дисциплин. К сожалению, его идеи и разработки, о которых он любил говорить со своими ближайшими сотрудниками, не всегда материализовывались в виде статей, и теперь приходится сожалеть о некоторых утраченных результатах.

Не будет преувеличением сказать, что значение трудов Келдыша и всей его научной и научно-организационной деятельности для современной математики велико. Сейчас все яснее становится то громадное влияние, которое оказывает математическое творчество Келдыша на развитие науки как в нашей стране, так и за рубежом. ■

Литература

1. Келдыш М., Франкль Ф. Внешняя задача Неймана для нелинейных эллиптических уравнений с приложением к теории крыла в сжимаемом газе // Известия Академии наук СССР. VII серия. Отделение математических и естественных наук. 1934. №4. С.561—601
2. Weierstrass. Ueber die analytische Darstellbarkeit sogenannter willkurlicher Funktionen einer reellen Veranderlichen. Berlin, 1885.
3. Lavrentieff. Sur les fonctions d'une variable complexe representables par des series de polynomes // Actualites Scient. et Industr. Paris, 1936.
4. Runge C. Zur Theorie der eindeutigen analytischen Funktionen // Acta Math. 1885. V.6. P.228—244.
5. Келдыш М. О представлении функций комплексного переменного рядами полиномов в замкнутых областях // Матем. сб. 1945. Т.16(58). №3. С.249—258.
6. Мергелян С.Н. Равномерные приближения функций комплексного переменного // УМН. Т.7. 1952. №2(48). С.31—122.
7. Витушкин А.Г. Аналитическая емкость множеств в задачах теории приближений // УМН. 1967. Т.22. №6(138). С.141—199.
8. Мельников М.С. Аналитическая емкость: дискретный подход и кривизна меры // Матем. сб. 1995. Т.186. №6. С.57—76.
9. Tolsa X. Painlevre's problem and the semiadditivity of analytic capacity // Acta Math. 2003. V.190. №1. P.105—149.
10. Мстислав Всеволодович Келдыш (к шестидесятилетию со дня рождения) // УМН. 1971. Т.26. №4(160). С.3—14.
11. Обзор научной деятельности М.В.Келдыша // М.В.Келдыш. Избранные труды. Математика / Под ред. К.И.Бабенко, Н.Н.Боголюбова, Н.Н.Ченцова. М., 1985. С.11—28.
12. Келдыш М.В. О собственных значениях и собственных функциях некоторых классов несамосопряженных уравнений // ДАН. 1951. Т.77. №1. С.11—14.
13. Келдыш М.В. О полноте собственных функций некоторых классов несамосопряженных линейных операторов УМН. 1971. Т.26. №4(160). С.15—41.



С С.П.Королевым. 1965 г.



С М.А.Лаврентьевым в СО АН СССР. 1961 г.



На семинаре в отделе молекулярной биофизики. Киев, 1964 г.



С Г.С.Титовым. 1961 г.



Три «К»: академики С.П.Королев, И.В.Курчатов, М.В.Келдыш. 1959 г.

Несколько заключительных слов

Оглядываясь на путь Келдыша в науке, можно видеть, что Мстислав Всеволодович руководствовался тремя основными принципами: 1) научно-техническая революция, информатизация и компьютеризация должны помочь науке созданием банков знаний и ускорением обработки и получения результатов; 2) научное достижение важно тогда, когда оно не просто описывает явление природы, а когда дает возможность его использовать; 3) нужно выдвигать основные ударные участки исследований и в то же время *держат весь фронт науки*. Он не считал, что нужно делить науку на важные и второстепенные участки, потому что и на кажущихся сейчас второстепенными участках могут открыться новые, невиданные и перспективные возможности. Поэтому он помогал развитию всех основных направлений фундаментальной науки.

Мстислав Всеволодович умел сторонним взглядом увидеть и оценить собственные достижения, успехи других, стремился придать научному творчеству надличностный характер, что оказывало мощное воздействие на развитие науки, иногда преграждая путь ложным идеям. Очень многим ему обязаны кибернетика, информатика, когда-то считавшиеся у нас лженауками, экономические науки, молекулярная биология, генетика.

Он думал о сохранении природы нашей большой страны, много ездил по регионам. В итоге, как президент Академии, стремился развить науку на Урале, в Сибири, на Дальнем Востоке, на Кольском полуострове, в других местах, организовывал новые научные центры, направляя и контролируя исследования в этих центрах. Келдыш чувствовал главные звенья научных проблем в целом, мог разобраться в вопросах, стоящих далеко от математики. Он обладал даром без громких фраз и суеты организовать и направить работу больших коллективов, добиваясь выполнения принятых решений.

Келдыш гордился достижениями отечественной науки и техники, особенно в космонавтике, и имел на это полное право — он был автором и вдохновителем многих из них.

© Г.Н.Езерова

Униженные и оскорбленные... дьявольские самцы

М.В.Алфимова

Мысль о наличии биологических основ разрушительного поведения у человека высказывали многие ученые. Они рассматривали агрессию как проявление возникшего в ходе естественного отбора инстинкта борьбы, обеспечивающего в животном мире преимущества для выживания: возможность расправиться с конкурентами и получить свою долю ресурсов. А не так давно приверженцы природного происхождения агрессивности взяли последний бастион. В своей нашумевшей книге «Дьявольские самцы» Р.Рэнгем и Д.Петерсон описали, как шимпанзе осознанно, сбившись в банды, убивают соседей — представителей своего вида, и насилуют сестер [1]. Ранее подобное поведение считалось присущим только человеку.

Другие исследователи указывали на существование порочного круга жестокости. Человек, ставший жертвой насилия в раннем детстве, вырастая, нередко сам превращается в насильника. Разумеется, такая доля ждет не всех детей, живших в неблагополучных семьях. Часть детей защищена от этого проклятия судьбы. Обстоятельства, вырывающие ребенка из круга жестокости, обычно искали в индивидуальности жертвы и в особенностях ее окружения. Открытие психолога А.Каспи и британских генетиков, похоже, может примирить данные о природе и воспитании. Так,



Маргарита Валентиновна Алфимова, доктор психологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории клинической генетики Научного центра психического здоровья РАМН. Область научных интересов — психогенетика, нейропсихология, генетические детерминанты управляющих функций.

в 2002 г. они сообщили, что среди молодых мужчин, с которыми плохо обращались в раннем возрасте, риск антисоциального поведения, включая и насильственные преступления, выше у тех, в генотипе которых находится менее активный вариант гена MAOA [2]. Каспи и его коллеги использовали результаты большой работы, длившейся в Новой Зеландии с 1972 г. Различные специалисты обследовали более тысячи детей и их семьи каждые два-три года, начиная с трехлетнего возраста. К моменту работы Каспи испытуемым было уже по 26 и более лет, и некоторые из них успели попасть под суд. Изучив образцы ДНК 442 юношей, генетики обнаружили, что 12% выборки составляли те, кто подвергался жестокому обращению и одновременно имел менее активный аллель MAOA, однако на их долю пришлось 44% совершенных насильственных преступлений.

Всего же из этой генетически и социально неблагополучной группы 85% имели антиобщественные наклонности и в подростковом, и во взрослом возрасте. Более активный аллель гена защищал его обладателей от роста агрессивности в ответ на жестокое обращение родителей.

Криминальная история гена MAOA

Ген MAOA кодирует одну из двух форм фермента моноаминоксидазы, участвующего в разрушении моноаминов. Он не случайно привлек к себе внимание британских ученых, интересующихся источниками насилия. Криминальная история этого гена, позже прозванного «бойцовским» (warrior gene), началась десятью годами раньше. В 1993 г. Х.Бруннер, возглавлявший отдел генетики человека Медицинского центра при Уни-

верситете Святого Радбода в Нидерландах, описал семью, в которой несколько мужчин с низким интеллектом из разных поколений отличались психопатическим поведением — импульсивной агрессией, склонностью к поджогам, изнасилованиям и эксгибиционизму [3]. Все они имели мутацию в гене МАОА, в результате которой менялась структура белка, падала его ферментативная активность и уровень моноаминов возрастал. Поскольку ген МАОА расположен на X-хромосоме, мужчины обладают лишь одним его аллелем, и мутация проявлялась более отчетливо. Созданная вскоре «мышинная модель» позволила подробнее изучить последствия выключения гена МАОА. Оказалось, что мыши-самцы, нокаутные по этому гену, бесшабашны и импульсивны, а количество моноаминов в их мозге существенно повышено.

Мутация, описанная Бруннером, уникальна для конкретной семьи. Для детального изучения роли гена МАОА в агрессии нужно было найти распространенные в популяциях формы, отличающиеся интенсивностью транскрипции или свойствами кодируемого фермента. Такой полиморфизм обнаружили в 1998 г. Поскольку он заключался в различном числе tandemных повторов длиной в 30 пар нуклеотидов в промоторе гена, его обозначили -uVNTR. Оказалось, что в популяции человека существует пять видов аллелей МАОА с числом повторов от двух до пяти. Наиболее распространены аллели с тремя и четырьмя повторами: среди лиц европейского происхождения их частота составляет около 30 и 65% соответственно, а среди иных рас и этнических групп — их подавляющая часть, хотя соотношение частот варьирует. Другие аллели встречаются очень редко: частота аллеля 2 составляет менее 0.5%, аллеля 5 — около 1.5%, а аллеля 3.5 (состоит из трех повторов и кусочка в 18 п.н.) — около 2%. Экс-

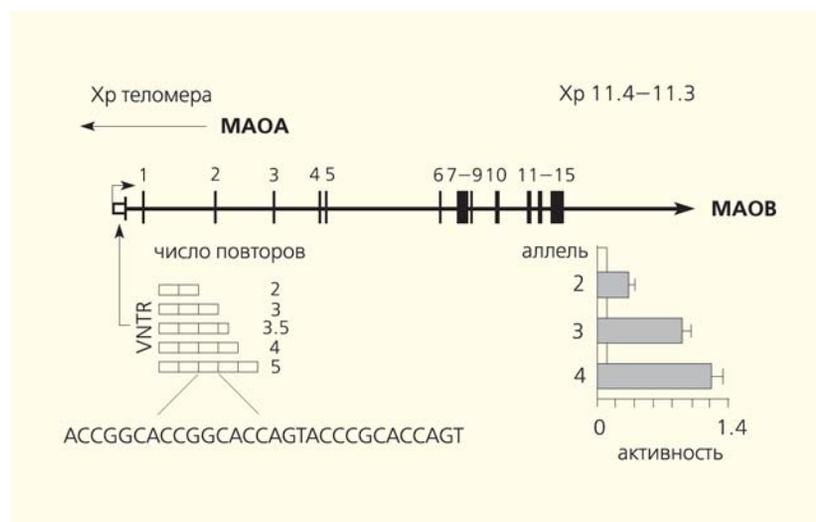


Рис.1. Схема строения гена МАОА: 15 экзонов, полиморфизм -uVNTR МАОА, расположенный в области промотора гена, активность аллелей с двумя, тремя и четырьмя повторами в клетках SH-SY5Y относительно базового вектора pGL2. Прозрачные прямоугольники — активность базового вектора, серые — активность аллелей.

перименты в различных культурах клеток показали, что аллели 3.5 и 4 в два и более раз активнее, чем аллели 3 и 5. В результате аллели 3 и 4 стали обозначать как аллель Н (низкоактивный) и аллель В (высокоактивный) соответственно (рис.1).

Поиски непосредственной связи между вариантами гена МАОА и антисоциальными наклонностями человека не дали однозначной картины. Ситуация начала проясняться, когда Каспи поставил во главу угла «среду». Справедливости ради надо отметить, что предшествовавшие исследования на приемных детях недвусмысленно указывали на важнейшую роль генотип-средовых взаимодействий в формировании преступного поведения (рис.2). Жестокое обращение с ребенком именно в первую декаду жизни также привлекло внимание Каспи не случайно. Статистика свидетельствовала: чем раньше ребенок подвергся жестокому обращению, тем вернее, став подростком и взрослым, он будет демонстрировать антисоциальное поведение.

К настоящему времени это открытие подтверждено в целом

ряде работ, а также с помощью обобщенного анализа данных. Унижаемые и отвергаемые родителями носители аллеля Н оказались весьма неблагоприятной группой. При этом самостоятельное влияние гена МАОА на антисоциальное поведение выявлялось крайне редко, а жестокое обращение с ребенком всегда повышало риск развития у него склонности к насилию. Кроме того, было показано, что защитные возможности аллеля В ограничены. В случаях крайней жестокости взрослых генетические различия между детьми стираются, грубые расстройства поведения обнаруживаются у большинства из них.

Важно отметить, что наличие в генотипе ребенка аллеля Н не коррелирует с жестоким обращением с ним со стороны взрослых. Если бы такая связь существовала, то данные Каспи объяснялись бы так называемой «реактивной генотип-средовой корреляцией», т.е. тем, что ребенок провоцирует родителей на жестокость своими скверными наследственными чертами. Однако не исключено, что в основе насилия лежит «пассивная генотип-средовая корреляция»:

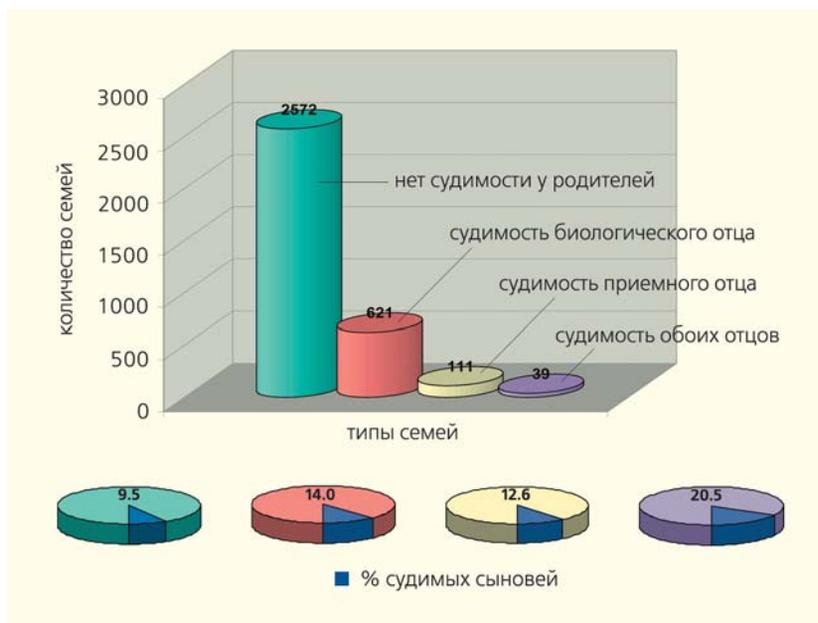


Рис.2. Диаграмма, иллюстрирующая влияние генотипа и среды на криминальное поведение (метод приемных детей). Датские ученые проследили судьбу более 14 тыс. лиц, усыновленных в период с 1924 по 1947 г. Внизу — доля (в %) судимых мужчин, воспитанных в различных приемных семьях. Наибольший процент судимости за преступления против собственности наблюдался среди лиц с отягощенной наследуемостью, выросших в неблагоприятной семейной среде.

дети с неблагоприятными наследственными задатками растут в семьях, где насилие — одно из проявлений генетически обусловленной жестокости их родителей.

Пока не вполне понятно, можно ли переносить на женщин закономерности, выявленные у мужчин. В европейских популяциях только 9% женщин — носители двух аллелей H, а у остальных 91% присутствует хотя бы одна копия аллеля V. Однако неясно, сколько аллелей гена действует в женском геноме, где большая часть одной из двух X-хромосом неактивна. Некоторые генетики считают, что не инактивируется как раз тот участок X-хромосомы, где расположен ген MAOA, и, значит, оба аллеля активны. Другие полагают, что этот участок может инактивироваться случайно, и тогда число активных аллелей неизвестно. Проблема осложняется тем, что в промоторе гена MAOA находятся места связывания с глюкокортикоидами (гормонами стресса) и мужским половым гормоном тестостероном. При связывании ген MAOA активируется, но в случае прикрепления тестостерона не столь интенсивно, как в случае глюкокортикоидов. Это означает, что при высокой концентрации тестостерона допуск глюкокортикоидов к местам связывания будет закрыт, что снизит экспрессию гена MAOA. Таким образом, даже если в геноме женщины активен только один аллель MAOA, его экспрессия и, следовательно, ферментативная активность MAO в организме должны быть несколько выше, чем в аналогичном случае у мужчины.

Преступность и наследственность

Рассказ о связи между преступностью и наследственностью обычно начинается с упоминания об итальянском психиатре Чезаре Ломброзо, который

в 1870-х годах дал антропологическое описание «прирожденного преступника»: низколобый тип со сплюснутым носом и жидкой бородкой. Следующая печальная страница — кровавая и позорная практика стерилизации и даже уничтожения людей с нежелательными для общества качествами. В число жертв этой практики, основанной на идеях евгеники, попали не только преступники, но и пациенты, страдавшие психическими расстройствами. Злодеяния, творившиеся в 20–30-х годах XX в. в США и европейских странах, достигли своего апогея в нацистской Германии. После ее крушения тема врожденной преступности почти на два десятилетия была вытеснена из фокуса общественного внимания европейцев, тлея и вспыхивая внутри расистских скандалов в США.

В европейских средствах массовой информации связь между генами и преступностью стала снова широко обсуждаться в 1965 г. после сообщения П.Джэйкобс с коллегами. Среди обследованных в психиатрической больнице строгого режима в шотландском Кастерсе 196 заключенных со сниженным интеллектом они обнаружили восемь мужчин с лишней Y-хромосомой, т.е. почти 4% — при популяционной частоте этой аномалии около 0.1%. На горизонте общественного сознания снова замаячил призрак природного убийцы. К счастью, этическими дебатами по поводу данных Джэйкобс дело не ограничилось. Масштабные исследования, проведенные в скандинавских странах, помогли увидеть настоящий облик осужденного с двумя или более Y-хромосомами. Оказалось, что это высокий человек, но не то чтобы агрессивный, скорее очень импульсивный: совершенно не способный предвидеть последствия своих поступков, без конца наступающий на одни и те же грабли и легко попадающий за решетку.

ку за кражи. Призрак «суперсамца» растаял в воздухе.

Очередную волну интереса к наследственным основам преступности вызвала публикация Бруннера. Позднее, когда разгорелся скандал, он пояснил свои взгляды на проблему в других публикациях и выступлениях. Он не уставал напоминать, что неверно называть ген MAOA «геном агрессии» и что идея о единственном гене, вызывающем сложное поведение, нереалистична. Найденная им мутация очень редка и не может отвечать за все случаи патологической агрессии в обществе, опровергался Бруннер. Кроме того, даже внутри описанной семьи мужчины с одной и той же мутацией существенно различались характером и поступками, что указывает на важную роль среды в формировании агрессивности.

С публикацией Бруннера было связано первое громкое судебное дело, в котором защита попыталась использовать генетические данные для смягчения приговора убийце. В американском штате Джорджия в феврале 1991 г. Стефан Мобли вошел в магазин «Пицца Домино», ограбил управляющего и затем хладнокровно убил его выстрелом в голову. Через несколько недель его арестовали, и он сознался в нескольких вооруженных ограблениях и описанном убийстве. Обвинение требовало для Мобли смертной казни, но его адвокаты после публикации Бруннера обратились к суду с просьбой провести генетическое исследование в надежде на смягчение наказания и сохранение жизни Мобли. В случае обнаружения у Мобли мутации, описанной Бруннером, адвокаты попытались бы доказать, что их подзащитный не отвечает за свои поступки в полной мере. Однако просьбу адвокатов о генетическом тестировании отклонили. Преступника казнили.

Открытие Каспи, первоначально говорившее о существ-

вовании защитной, прерывающей круг насилия формы гена MAOA, постепенно тоже начало обрастать скандалами. Самый большой из них разразился на родине исследования — в Новой Зеландии. В 2006 г., во время проходившей в Брисбэне конференции по генетике человека, Р.Ли сообщил, что среди мужчин маори (аборигенов Новой Зеландии) аллель Н встречается в два раза чаще, чем среди лиц европейского происхождения и это может объяснить и социальные проблемы маори, и древнюю историю их миграции с островов Тихого океана на новозеландскую землю. Ученый неосторожно наступил на большую мозоль: общественное мнение и так было взбудоражено сообщениями о насилии, в том числе об убийствах детей в маорийских семьях. Нечего и говорить, как досталось исследователю за «генетическое объяснение негативной социальной и медицинской статистики по маорийским семьям».

Однако очередная волна противостояния сторонников и противников генетического происхождения преступности, видимо, еще не достигла своего пика. Не только в газетах, но и в научных журналах многие заголовки выглядят агрессивными и запугивающими. Вот лишь несколько примеров: «Рожденный быть диким?», «Генетические доказательства правоты Дарвина относительно преступности — природа, а не воспитание», «Прирожденные убийцы: генетическое происхождение крайней жестокости» [4—6]. К тому же общество опять становится толерантным к мысли о врожденной порочности. В 2009 г. европейская фемида впервые приняла к сведению данные о генотипе обвиняемого в убийстве. Наличие у убийцы неблагоприятных вариантов пяти генов, включая MAOA, позволило итальянскому апелляционному суду сократить срок заключения с 9 до 8 лет.

Интересно, что в стороне от этих скандалов остаются чудовищные факты насилия над детьми, вынесенные на обозрение благодаря интересу к средовому контексту, в котором проявляет себя ген MAOA. Так, в одной из работ объектом генетического исследования стали женщины индейского племени, живущего на юго-востоке США [7]. Внимание ученых к ним было вызвано высоким уровнем женского алкоголизма и антисоциального расстройства личности: у 50% и 13% женщин племени против 8% и 2% всех женщин США. Выяснилось, что 51% опрошенных женщин племени испытали сексуальное насилие (реальный физический сексуальный контакт с лицом, старшим, чем жертва, не менее чем на 5 лет) в возрасте до 16 лет. Следует подчеркнуть, что в этом племени, где столь жестоко обращались с детьми, в отличие от новозеландских маори, частота аллелей 3 и 4 была примерно такой же, как в европейских популяциях — 38 и 62% соответственно.

Механизм действия гена MAOA

Снять ложные обвинения с отдельных народов и избежать политических последствий изучения генов, претендующих на звание «бойцовских», можно, только описав механизм действия каждого конкретного гена на нейронном, психологическом и эволюционном уровнях. Так что же делает ген MAOA в нашем мозге и с нашей психикой?

Предварительный ответ состоит в том, что MAOA влияет на строение и функционирование лимбической системы мозга. У носителей аллеля Н количество серого вещества миндалины и средней поясной коры снижено на 8%. Эти структуры находятся в тесных реципрокных отношениях: первая оценивает опасность поступающих сигналов и вместе с гиппокампом вовлечена в эмоциональную па-

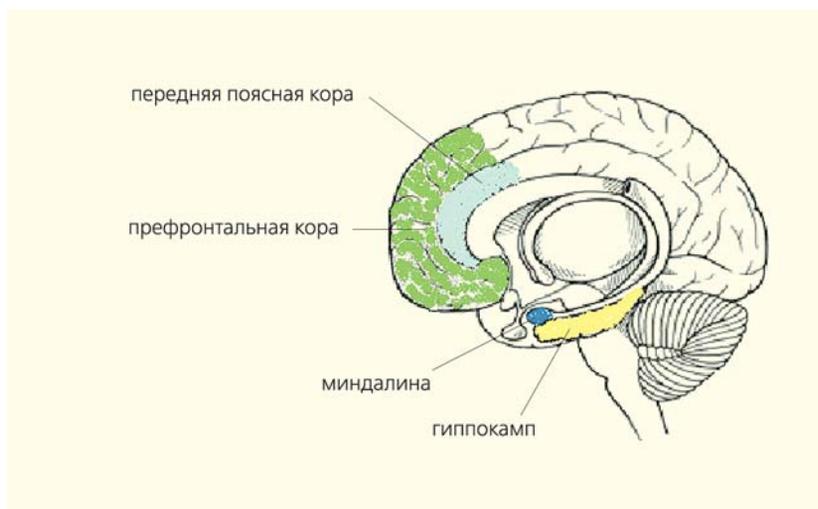


Рис.3. Структуры мозга, через которые полиморфизм MAOA может влиять на поведение. Амигдала (миндалина) оценивает поступающие сигналы как представляющие или не представляющие опасность и вместе с гиппокампом вовлечена в эмоциональную память и выработку условных рефлексов страха. Передняя поясная кора участвует в разрешении конфликта. В префронтальной коре находятся высшие центры регуляции эмоций и поведения.

мать и выработку условных рефлексов страха; вторая участвует в разрешении конфликта (рис.3). В состоянии покоя активность этих структур не зависит от генотипа по MAOA. Видимо, обладатели аллеля Н, находясь в лаборатории в расслабленном состоянии с открытыми глазами, не вынашивают «кровавых планов». Но у мужчин с аллелем Н даже простое предъявление изображений гнева или страха вызывает определенные изменения в реакции мозга: гиперактивность миндалины (что может свидетельствовать о легкости возникновения гнева и страха) и гипоактивность передней поясной коры.

Несколько иная картина возникает в ситуации, порождающей настоящие отрицательные эмоции. Так, у участников эксперимента регистрировали активность мозга во время компьютерной игры «кибербол» [8]. У них создавали иллюзию, что партнеры по игре (которых на самом деле не существовало) игнорируют испытуемого, практически не посылая ему мяч. В этом случае человек чувствовал себя уязвленным, изолиро-

ванным. У мужчин с аллелем Н, которые и без того, как показали психологические тесты, обладали большей чувствительностью к отвержению и большей агрессивностью, наблюдалась повышенная активация передней поясной коры. Не исключено, что такая гиперактивность отражает усилия, которые прикладывают носители аллеля Н, чтобы совладать с подобной ситуацией. Согласно предварительным данным, и функции высших регуляторных центров эмоций и поведения, расположенных в лобных отделах и управляющих поясной корой, могут быть компенсаторно усилены у носителей аллеля Н.

Каков же психологический механизм агрессивного поведения у лиц с аллелем Н? Что это — инструментальная агрессия или реактивная, т.е. эти люди — холодные, расчетливые психопаты, не считающиеся с чувствами окружающих, или они уязвимые, импульсивные жертвы, использующие нападение как защиту? Эксперименты с игрой «кибербол» свидетельствует в пользу второго варианта. Причем гиперреактивность миндалины

и тесно связанного с ней гиппокампа у носителей аллеля Н могут объяснить их повышенную чувствительность к психологическим травмам худшей способностью забывать плохое и преодолевать сформированный жизнью страх.

Об их повышенной уязвимости и оборонительной позиции говорят и другие штрихи портрета. Так, юноши с аллелем Н чаще становятся членами банд, носят и применяют оружие. Вместе с тем они реже, чем асоциальные подростки с аллелем В, без разрешения пользуются чужими кредитными картами и выписывают фальшивые чеки. Возможно, им просто не хватает терпения и хладнокровия для подобных дел. Тем более что носительство аллеля Н коррелирует не только со снижением дружелюбия, но и со снижением настойчивости. Среди взрослых мужчин с аллелем Н меньше прагматичных существ и больше «мстителей», готовых жертвовать своей материальной выгодой, чтобы наказать обидчика. В то же время, подобно высоко тревожным людям, они склонны реже покупать лотерейные билеты, но чаще приобретать страховки, если вероятность выигрыша и наступления страхового случая ничтожна.

Интересно, что высокий полиморфизм гена MAOA отмечен у тех видов макак, жизнь которых характеризуется иерархическим построением социальных отношений, агрессией и нетерпимостью. В то же время толерантные, менее поляризованные, протекционистские сообщества макак отличаются мономорфностью промоторных вариантов гена. Но в чем плюсы аллеля 3 (Н), позволившие ему распространиться в популяции человека?

Некоторые ученые усматривают в опубликованных данных намек на то, что в благоприятных обстоятельствах носители низкоактивного аллеля даже менее агрессивны, чем носители аллеля В. Это позволяет предпо-

ложить, что аллель Н ведет к большей пластичности поведения, к более сильному отклику на обстоятельства, не только травмирующие, но и положительные. Действительно, оказалось, что родительская забота может смягчать агрессивность у женщин с низкоактивным аллелем MAOA, в детстве переживших насилие, хотя не влияет на эту черту в группе женщин с двумя высокоактивными аллелями. Похоже также, что обладателям аллеля Н легче выпутаться из некоторых неприятностей. Так, среди метамфетаминовых наркоманов устойчивый длительный психоз, продолжающийся и после прекращения приема препарата, в случае аллеля Н встречается в три раза реже, чем в случае аллеля В.

Еще один пример связан с исчезновением делинквентности (от лат. *delinquentia* — проступок, прегрешение). Подростковая делинквентность — устойчивая склонность к неуголовным формам противоправного поведения. Это, например, вымогательство и другие способы измывательства над маленькими и слабыми, бродяжничество, мелкие кражи, употребление алкоголя, слабых наркотиков и т.д. Хорошо известно, что подавляющая часть асоциальных подростков, взрослая, становится вполне законопослушной. В этом процессе велика роль возникающих социальных связей. Так, американские исследователи обнаружили, что те же аллели генов обмена моноаминов (включая MAOA), которые увеличивают риск делинквентности, увеличивают и вероятность ухода юношей из делинквентной среды, особенно в сочетании с женитьбой [9]. Авторы, однако, объясняют это не чувствительностью соответствующих аллелей к средовому контексту, а так называемым флипфлоп-эффектом — тем, что для одних черт аллель может быть неблагоприятным, а для других, напротив, весьма полезным.

Уроки гена MAOA

Несмотря на большое количество исследований, вопрос о роли MAOA в жестокости нельзя считать решенным. Однако уже сейчас можно попытаться ответить на вопрос «кто виноват» и даже представить себе «что делать». Некоторые рецепты кажутся простыми и очевидными — например, не курить во время беременности. Среди 4 тыс. компонентов табачного дыма присутствует немало веществ, угнетающих активность MAO. У курящих женщин во многих органах и тканях активность фермента снижена, а у беременных она меняет траекторию развития мозга плода, помещая потомство в группу риска по антисоциальному поведению. При этом в большей опасности находятся малыши, у которых транскрипция гена MAOA и так невысокая. О связи между курением матери и последующими расстройствами поведения у ребенка знали давно, но теперь рекомендация не курить выглядит более обоснованной.

Второй рецепт — все должны хорошо питаться. Применительно к обсуждаемой проблеме это не общее место. В 2008 г. исследователь из Пенсильвании А.Райн, отвечая на им самим поставленный вопрос: «Если у преступников мозга набекрень, можно ли как-то вставить их на место?», предложил для преступников диету, обогащенную рыбьим жиром [10]. Ученый как в воду смотрел. Вскоре было опубликовано исследование, в котором сообщалось, что у мышей, находившихся на обогащенной жирами диете, возрасла активность ряда генов, в том числе и MAOA [11].

И, наконец, самое сложное — правильное воспитание. Что особенно вредно для ребенка с аллелем Н? Собственно психологическая травма, наличие отрицательного примера перед глазами в лице родителей, отсутствие четких представлений о том, что такое хорошо, или

привычки действовать в соответствии с такими представлениями? В пользу каждой из этих гипотез имеются данные.

Мы уже говорили, что наличие аллеля Н связано со снижением выраженности такой черты темперамента, как настойчивость. Настойчивые люди амбициозны, упорны и воспринимают периодически возникающие препятствия как личный вызов, удваивая усилия для достижения цели. Высокая настойчивость — это оптимальная жизненная стратегия, когда вознаграждение не гарантировано, а достается лишь периодически, поскольку способствует закреплению форм поведения, которые когда-либо ранее поощрялись. Можно предположить, что одним из важных психологических механизмов, опосредующих влияние гена MAOA на просоциальное поведение, служит склонность к закреплению социально вознаграждаемых форм поведения. Вероятно, недостаток определенной родительской тактики при поощрении и наказании детей и есть тот ключевой фактор, который измеряли в исследованиях с жестоким обращением. Ведь далеко не всегда оно было преступно жестоким, чаще исследователи фиксировали недостаточную заботу о ребенке со стороны родителей, их взаимную вражду и отсутствие порядка в семье.

О других особенностях воспитания, к которым чувствителен ген MAOA, говорят исследования обезьян. У макак, как и у человека, обнаружен полиморфизм гена MAOA, влияющий на интенсивность его транскрипции. Более того, маленькие макаки, как и маленькие люди, иногда подвергаются жестокому обращению со стороны своих матерей — и физическому наказанию и «оставлению без заботы». Таких детенышей насчитывают 5—10% — явная параллель с 8% детей, составивших наиболее неблагоприятную средовую группу в работе Каспи. Матери этих макак агрессивны и плохо

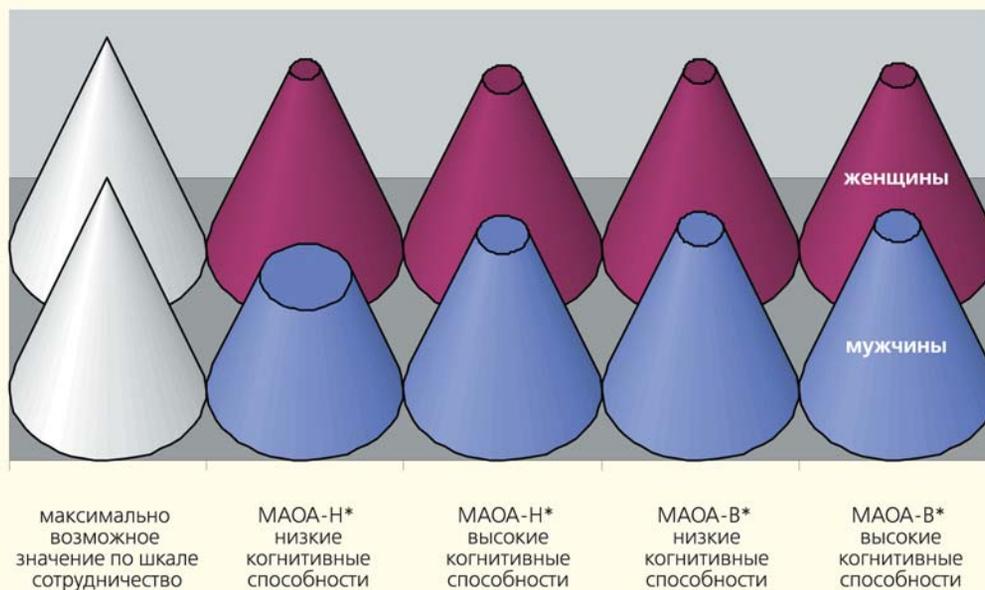


Рис.4. Показатели значения по шкале «сотрудничество» в зависимости от генотипа MAOA и когнитивных способностей. Высокие оценки за «сотрудничество» (по опроснику Р.Клонингера) отражают склонность к эмпатии, терпимость, сострадателность, готовность оказать поддержку. Мерой когнитивных способностей служил интегральный показатель управляющих функций — психических процессов, позволяющих человеку осуществлять целенаправленное поведение, включая выбор целей, инициацию и планирование поведения, торможение нерелевантных реакций и помех, рабочую память, когнитивную гибкость, самомониторинг и др. У женщин во всех группах оценки за «сотрудничество» высокие; у мужчин они несколько ниже, но существенно отличаются только в той группе, где носительство низкоактивных аллелей MAOA сочетается с невысокими когнитивными способностями.

ладят с другими членами стаи, ссоры с которыми вымещают на малышах.

Проверить влияние на поведение этих естественных факторов среды в сочетании с генотипом довольно сложно, поэтому в одной из работ создали для макак четыре типа «среды» [12]. Одна часть детенышей росла в обогащенной среде — в стае численностью до 150 особей, она располагалась на территории в пол-акра: у малышей была возможность попрыгать и покарабкаться по устроенным для них приспособлениям, а также скрыться от глаз разгневанной или расстроенной матери. Вторая выборка воспитывалась в небольшой социальной группе, состоящей из мамы, самца и нескольких самок с детенышами, и проживала в вольере диаметром всего лишь в 4 м. Другим повезло еще меньше: часть из них оказалась

заперта с мамой в клетке и лишь изредка имела возможность пообщаться с такой же «неполной» обезьяньей семьей. Наконец, некоторых детенышей разлучили с родителями и воспитывали вместе со сверстниками в питомнике.

Ситуацию угрозы создавали тем, что к пересаженному в отдельную клетку детенышу, глядя ему прямо в глаза, приближался незнакомый человек: для умеренной угрозы он останавливался в метре от обезьянки, для сильной — совсем близко, в 30 сантиметрах. Макаки реагировали на эти ситуации в зависимости от воспитания, от которого зависело и проявление генетических различий в реакции на угрозу. Выросшие в обогащенной среде макаки почти не реагировали на угрозу, а обезьянки из питомника демонстрировали страх, независимо от генотипа. Влияние гена MAOA на

поведение проявилось среди обезьян, живших в небольшой или неполной семье: среди них отрицательные эмоции сильнее выражали носители низкоактивного аллеля. Собственно агрессивность при приближении незнакомца проявляли в основном малыши из небольших социальных групп, а те, кого мама воспитывала в одиночку, испытывали тревогу. В целом страх и тревога оказались спутниками любых неблагоприятных условий воспитания, но для того, чтобы тревога превратилась в агрессию, обезьяна должна была иметь перед глазами модели агрессивного поведения: их, при виде мому, обеспечивало присутствие взрослого самца.

* * *

Р.Рэнгэм и Д.Петерсон заканчивают свою книгу «Дьявольские самцы» рассуждениями о том, как на дремучую «обезья-

нию» агрессию *Homo sapiens* может повлиять могучий человеческий разум. Можно ли считать, что человек не только не избавился от «менталитета» своего общего с шимпанзе агрессивного доисторического предка, но и использует интеллект для эскалации агрессии, создавая новые, невиданные в животном мире ее виды с применением грозного оружия? Или все же человеческая мудрость станет главным инструментом разрешения конфликтов?

Мы решили проверить, что происходит с характером человека, когда развитые интеллек-

туальные способности сочетаются у него с эффектами низкоактивного аллеля MAOA. Для этого у здоровых взрослых людей с помощью различных психологических методик оценили склонность к сотрудничеству/враждебности и так называемые управляющие функции мозга (рис.4). Это та часть интеллектуальных способностей, которая обеспечивает планирование поведения и контроль над ним, позволяя тем самым человеку вести себя целенаправленно. Оказалось, что мужчины с аллелем Н не отличались от мужчин с аллелем В по склонно-

сти к сотрудничеству, если их управляющие функции были хорошо развиты, т.е. находились на уровне средних значений всей когорты исследованных лиц или превышали их. В то же время у менее интеллектуальных обладателей аллеля Н способность ладить с людьми, сочувствовать и помогать им была выражена недостаточно [13]. Эти результаты свидетельствуют, что «разум» может нивелировать негативные характерологические последствия носительства аллеля Н гена MAOA. Так что у человечества есть основания для оптимизма. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 09-06-00128-а.

Литература

1. *Wrangham R.W., Peterson D.* Demonic males: apes and the origins of human violence. Boston, 1996.
2. *Caspi A., McClay J., Moffitt T.E. et al.* Role of genotype in the cycle of violence in maltreated children // *Science*. 2002. V.297(5582). P.851—854.
3. *Brunner H.G., Nelen M., Breakefield X.O. et al.* Abnormal behavior associated with a point mutation in the structural gene for monoamine oxidase A // *Science*. 1993. V.262. P.578—580.
4. *Bailey R.* Born to be wild? The role of genes in antisocial behavior // *Reason Magazine*. 2002. August 7.
5. *Ferguson C.J., Beaver K.M.* Natural born killers: The genetic origins of extreme violence // *Aggression and Violent Behavior*. 2009. V.14. P.286—294.
6. *Baschetti R.* Genetic evidence that Darwin was right about criminality: Nature, not nurture // *Medical Hypotheses*. 2008. V.70. P.1092—1102.
7. *Ducci F., Enoch M.A., Hodgkinson C., Xu K. et al.* Interaction between a functional MAOA locus and childhood sexual abuse predicts alcoholism and antisocial personality disorder in adult women // *Mol. Psychiatry*. 2008. V.13. P.344—347.
8. *Eisenberger N.I., Way B.M., Taylor S.E. et al.* Understanding genetic risk for aggression: Clues from the brain's response to social exclusion // *Biol. Psychiatry*. 2007. V.61. P.1100—1108.
9. *Beaver K.M., Wright J.P., DeLisi M., Vaughn M.G.* Desistance from delinquency: The marriage effect revisited and extended // *Social Science Research*. 2008. V.37. P.736—752.
10. *Raine A.* From genes to brain to antisocial behavior // *Current Directions in Psychological Science*. 2008. V.17. P.323—328.
11. *Lee A.K., Mojtabed-Jaberi M., Kyriakou T. et al.* Effect of high-fat feeding on expression of genes controlling availability of dopamine in mouse hypothalamus // *Nutrition*. 2009. V.26. P.411—422.
12. *Karere G.M., Kinnally E.L., Sanchez J.N. et al.* What is an “adverse” environment? Interactions of rearing experiences and MAOA genotype in rhesus monkeys // *Biol. Psychiatry*. 2009. V.65. P. 770—777.
13. *Алфимова М.В., Голымбет В.Е., Егорова М.С.* Личностные черты, управляющие функции и генетические особенности метаболизма моноаминов // *Психология. Журнал Высшей школы экономики*. 2009. Т.6. №4. С.24—41.

Рулетка для спектроскописта

И.А.Болдырев, Ю.Г.Молотковский

Беспроводным может быть не только интернет или телефон. В мире макромолекул бесконтактный перенос энергии используется в датчиках контакта, молекулярных дальнометрах и динамометрах, позволяя изучать детали взаимодействия молекул между собой.

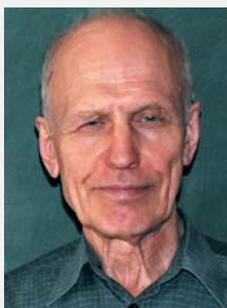
Общение без контакта

Как пользоваться бесконтактными картами для оплаты проезда или бесконтактными пропусками на работу — знает каждый горожанин. Проще простого. Поднес к турникету, загорелся зеленый — проходи. Технически подкованные читатели наверняка смогут объяснить и принцип действия таких карт: в турникете есть передатчик, а в билете спряталась маленькая антенна. Как только антенна оказывается достаточно близко к передатчику (обычно не более десяти сантиметров), она начинает принимать его излучение. В контуре появляется электрический ток, который питает простенькую электронику билета и позволяет ему (билету) в свою очередь общаться с турникетом — сверять месяц и количество оставшихся поездок. Выходит, билет сначала получает энергию от турникета, а потом ее же испускает. Энергия испущенного билетом излучения по закону сохранения энергии всегда меньше той, что он поглотил: разница ушла на обработку информации, а еще часть рассеялась в виде тепла. Для нас

© Болдырев И.А.,
Молотковский Ю.Г., 2011



Иван Александрович Болдырев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биоорганической химии им.М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН. Основные работы связаны с синтезом флуоресцентных липидных зондов и биофизическими исследованиями мембран с помощью флуоресцентной спектроскопии.



Юлиан Георгиевич Молотковский, доктор химических наук, главный научный сотрудник того же института, лауреат Государственной премии СССР (1985 г.). Одно из важнейших направлений руководимой им (1991—2007) лаборатории химии липидов — синтеза противоопухолевых препаратов липидной природы и разработка способов направленной их доставки к опухолям.

же важнее другое: взаимодействие происходит только в том случае, если приемник и передатчик находятся достаточно близко друг к другу.

А теперь вопрос: насколько малыыми могут быть передатчик и приемник?

Да хоть с молекулу размером. Самым главным отличием будут частоты (и, соответственно, расстояния), на которых возможен перенос энергии. И ученые стали использовать перенос энергии, причем задолго (лет за пятьдесят) до того, как появились первые бесконтактные проездные и пропуска. Для того чтобы это работало, нужны две подходящие молекулы. Первыми

участниками переноса были два флуорофора. Вообще-то подходящие молекулы нужно подбирать. Первая обязательно должна быть флуорофором — т.е. уметь испускать свет, а вторая — поглощать излучение, испущенное первой молекулой. Хотя второй молекуле не обязательно быть флуорофором, обычно все же берут флуорофор, потому что в этом случае появляется возможность дополнительно контролировать опыт по излучению молекулы №2.

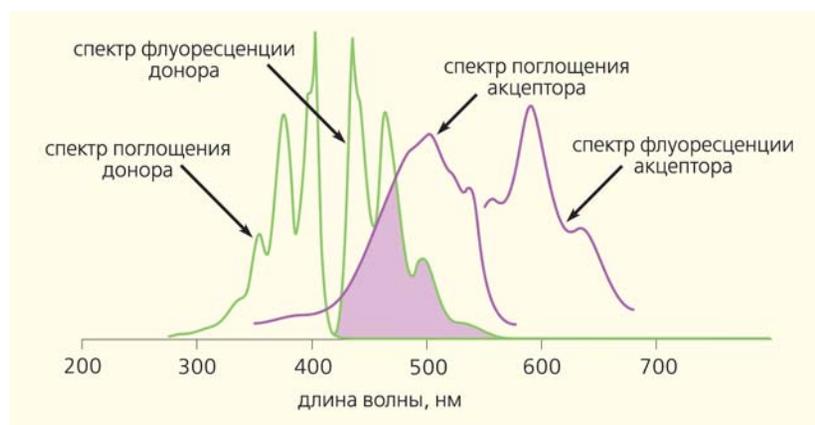
Первая молекула, поглотив квант света (фотон), переходит в возбужденное состояние. Теперь она способна сама испускать электромагнитное излуче-

ние — например свет. Эта молекула становится передатчиком (в терминах флуоресцентной спектроскопии — донором излучения). Если поблизости оказывается молекула №2 (акцептор), то донор не испускает свет, а безызлучательно передает ей энергию. Часть энергии при этом теряется (за то время, пока первая молекула находилась в возбужденном состоянии, она заставила перестроиться ближайшие к ней молекулы растворителя, — попросту, немножко их нагрела). Молекула №2, принявшая энергию, тоже переходит в возбужденное состояние, и теперь сама способна излучать свет.

Перенос энергии возможен не между любыми, а между строго определенными парами молекул — донором и акцептором. (В конце концов, ваш пропуск на работу не срабатывает в метро, и наоборот.) Кроме того, перенос энергии произойдет, только если донор и акцептор окажутся близко друг к другу (обычно не далее нескольких нанометров). Если сравнение бесконтактных проездных с переносом энергии все еще кажется надуманным, то вот их общая интересная особенность. И в работе бесконтактного проездного, и в переносе энергии между флуорофорами расстояние, на котором происходит взаимодействие, значительно меньше длины волны излучения, которое испускает передатчик — турникет или донор.

Большая практика

Две особенности переноса энергии между флуорофорами сделали его незаменимым инструментом исследователя в области молекулярной биологии, биофизики и смежных дисциплин. Первая и важнейшая особенность — в неизбежности переноса энергии при сближении донора и акцептора. Эта достоверная неизбежность позволяет использовать перенос энергии как датчик



Спектры поглощения света и флуоресценции донора и акцептора. Главное требование к паре донор-акцептор — перекрытие спектров (показано серым). Донор должен испускать свет как раз тех длин волн, которые может поглотить акцептор. Перенос энергии, тем не менее, происходит без излучения фотона. Дело в том, что если молекулы с близкими энергетическими уровнями (областями перекрытия спектров) оказываются недалеко друг от друга, то между этими уровнями может возникать резонанс, и энергия с одной молекулы передается на другую. Поэтому само явление называют FRET. (Fluorescence Resonance Energy Transfer — резонансный перенос энергии флуоресценции).

сближения двух молекул в пространстве. Достаточно пометить (покрасить) эти молекулы флуоресцентными зондами. Благодаря такой универсальности метод можно использовать для изучения всего диапазона взаимодействий между ДНК, белками и мембранами. Подбирая флуорофоры и модифицируя ими белки* или другие биологические молекулы, ученый как бы ставит сигнализацию. Появление флуоресцентного сигнала, за которым экспериментатор наблюдает в микроскопе или на флуоресцентном спектрометре, равносильно тому, что перенос энергии сработал.

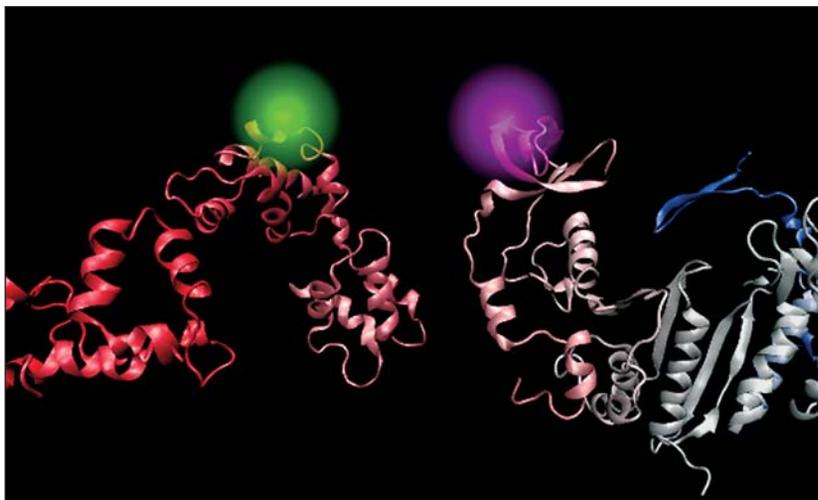
На что ставить такую «флуоресцентную сигнализацию» — вопрос уникальный для каждой научной задачи. Например, можно пометить флуорофорами фермент и субстрат и потом

* Чтобы белки обладали флуоресценцией, не обязательно химически присоединять к ним флуорофор. Можно использовать белки, которые обладают собственной флуоресценцией и светятся подобно медузам. Достоинство такого подхода в том, что флуоресцентный белок может синтезировать сама клетка, а значит, воздействие извне будет минимальным.

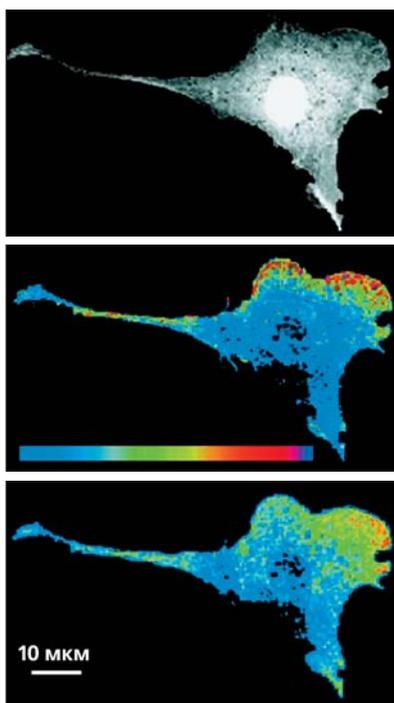
следить, когда и при каких условиях (величине pH, концентрации кальция, температуре и пр.) происходит ферментативная реакция.

Вторая важная особенность заключается в том, что эффективность переноса энергии зависит от расстояния между флуорофорами; точнее, она обратно пропорциональна расстоянию в шестой степени ($\sim r^{-6}$ **).

** Теорию резонансного переноса энергии разработал в середине XX в. Теодор Фёрстер. Первоначально теория называлась FRET — Fluorescence Resonance Energy Transfer (резонансный перенос энергии флуоресценции). Термин некорректный, поскольку в самом переносе энергии не излучается фотон, а значит, и нет флуоресценции. Некоторое время специалисты называли теорию просто RET, без слова «флуоресценция». Но аббревиатура FRET была уже слишком распространена. В память о Фёрстере сегодня FRET расшифровывается как Förster Resonance Energy Transfer — резонансный перенос энергии по Фёрстеру. Интересно, что в русскоязычной литературе путаницы изначально не было. Теория называется ИППЭ — индуктивно резонансный перенос энергии, что позволяет использовать единую терминологию как для механизма, предложенного Фёрстером, так и для механизма, предложенного Декстером, а также для множества более поздних расширений и дополнений.



Визуализация переноса энергии. Если к одной молекуле белка прикрепить флуорофор-донор, а к другой — флуорофор-акцептор, то, как только молекулы сблизятся (фермент подойдет к субстрату или антиген к антителу), произойдет перенос энергии с донора на акцептор. Так мы сможем узнать, что молекулы сблизилась и находятся друг рядом с другом. Это очень важные сведения: на основании того, что молекулы удерживаются вместе, можно сделать вывод, что они обладают «средством» друг к другу — например, что данное антитело связывается именно с этим антигеном.



Взаимодействие двух белков внутри клетки. Красный цвет означает высокую эффективность переноса энергии, а синий — низкую. Проще говоря, в том месте, где клетка окрашена красным, два белка взаимодействуют друг с другом.

А раз так, то перенос энергии очень удобно использовать для измерения расстояний. Некоторые даже называют этот метод спектроскопической рулеткой. Диапазон измерений составляет несколько нанометров. Как раз то, что нужно для измерения расстояний в мире биомолекул! Например, запросто можно измерить расстояние, на которое сблизаются два белка на поверхности мембраны клетки. Да что там расстояния! Можно измерить любую производную от него величину — например, силу сцепления клетки с поверхностью, на которой она лежит.

При должном умении исследователи ухитряются даже проследить с помощью флуоресцентных инструментов за последовательными шагами работы рибосомы — связыванием аминоксил-тРНК с рибосомой, образованием новой пептидной связи, перемещением «новосинтезированной» пептидной цепочки в соседнее положение и диссоциацией «пустой» тРНК!

Увидеть невидимое

Теоретический (но при этом труднодостижимый) предел разрешения оптической микроскопии — половина длины волны используемого света (не менее 200 нм в видимом диапазоне). Значит, в оптический микроскоп нельзя различить два объекта, если расстояние между ними меньше этой величины. Такой точности вполне хватает, чтобы изучать морфологию клеток; но вот чтобы наблюдать молекулы внутри живой клетки, нужно разрешение в несколько нанометров — т.е. в 100 раз меньше «барьера». Конечно, можно использовать более коротковолновое излучение (как в электронной микроскопии), но оно разрушительно для клеток, и, значит, позволяет работать только с фиксированными (мертвыми) объектами. Явление переноса энергии позволяет частично обойти это препятствие: свечение возникает, если донор и акцептор сблизятся в пространстве. В конце концов, все, что мы хотим увидеть в микроскоп, — это взаимное расположение объектов. Или хотя бы насколько близко они друг к другу находятся.

* * *

Большой мир, в котором мы живем, подчиняется тем же законам, что и мир малый, где функционируют (или все-таки живут?) макромолекулы — белки и ДНК, липиды и углеводы.

Метод аналогий и параллелей, хотя и позволяет обнаруживать интересные и неожиданные сходства фундаментально разных явлений, конечно же не дает строгого научного знания. И несмотря на большое количество практических приложений, у современной теории переноса энергии между молекулами есть как сторонники, так и критики. У каждого из них имеются экспериментально обоснованные аргументы в свою пользу. А это значит, что ученым предстоит еще работать и работать. Самое интересное, конечно, впереди. ■

Железомарганцевые руды: безопасная добыча в океане

Е.С.Базилевская, С.А.Мошаров

Немногим более полувека прошло с тех пор, как начались активные научные исследования в Мировом океане. В Советском Союзе в послевоенные годы для этих целей переоборудовали поднятый со дна и восстановленный трофейный корабль. Долгое время он успешно работал в Мировом океане под именем «Витязь». С ним связано много новых открытий, в том числе и первые исследования железомарганцевых конкреций (ЖМК) в северной приэкваториальной области Тихого океана между разломными зонами Кларифон и Клиппертон (рис.1). Впоследствии здесь усилиями научно-исследовательских судов международного сообщества была выделена самая крупная в Мировом океане рудная провинция с большим скоплением конкреций, богатых Mn, а также Ni, Cu, Co и другими микроэлементами. В общей сложности до трех четвертей элементов таблицы Менделеева сорбируется в конкрециях гидроксидными марганца и железа, но особенно высока сорбционная емкость марганца.

Значительная часть наземных месторождений этих металлов близка к истощению, запасы их исчисляются двумя-тремя десятилетиями добычных работ, соответственно растет и их стоимость. Учитывая, что данные металлы представляют собой стратегическое сырье, до-



Елена Сергеевна Базилевская, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН. Специалист в области океанского рудогенеза.



Сергей Александрович Мошаров, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник того же института. Область научных интересов — экология океанской среды.

быча их со дна океана представляется неизбежной.

Между тем научная изученность океанских руд не соответствует тем темпам, с которыми мировое сообщество уже в 2015 г. готовится к освоению океанских сокровищ в промышленных масштабах. Россия же сможет приступить к добыче не раньше 2020—2030 гг. [1]. Это вызывает сожаление, поскольку мы одними из первых в свое время подали заявку на два закрепленных за СССР участка суммарной площадью в 75 тыс. км², что составляет около 2,5% всей

площади рудной провинции и соответствует нашему вкладу в ее общее изучение. Однако последовавший затем многолетний застой в морских исследованиях океанских Fe-Mn-руд и технологических разработках их добычи отбросил нашу страну на несколько лет назад. Заметим, что стоимость металлов в конкрециях только на одном нашем заявочном участке площадью в 40 тыс. км² оценивается в 350 млрд долл. (в ценах мирового рынка на 2001—2005 гг.), причем сюда не входит стоимость самого марганца.

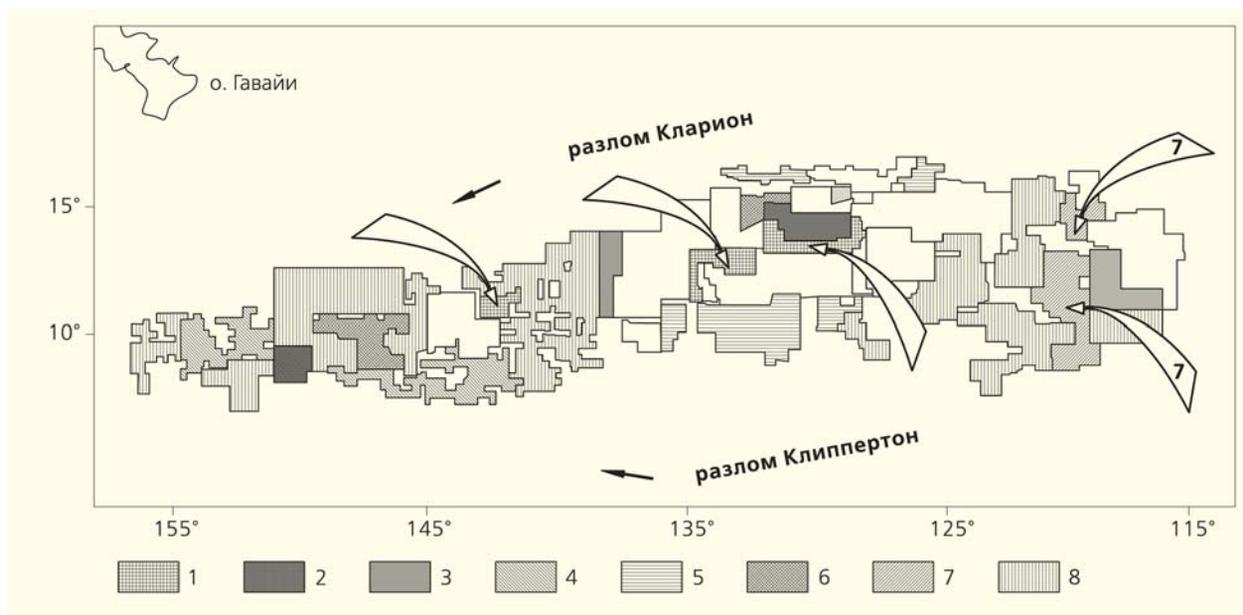


Рис.1. Схема раздела рудной провинции Клариион-Клиппертон на поля Fe-Mn-конкреций между ведущими странами мира и международными консорциумами: Участки, зарегистрированные за первоначальными вкладчиками: 1 — Россия (показано стрелками), 2 — Франция, 3 — Германия, 4 — Китай, 5 — Корея, 6 — Япония, 7 — СО Интерокеанметалл (принадлежащее России на долевого основе), 8 — участки, находящиеся под контролем Международной организации по морскому дну. Незакрашенные площади — участки, на которые претендуют международные консорциумы.

Экологическая опасность современных методов добычи

В Конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву (МОД ООН), принятой в 1982 г., уделяется особое внимание важнейшему значению защиты и сохранения морской среды. Одна из 17 составляющих Конвенции (часть XII) целиком посвящена этой теме и содержит призыв к глобальному и региональному сотрудничеству в оказании технического содействия, проведении мониторинга и экологической оценки предстоящих разработок. Только соблюдение общепринятых международных норм может сохранить под контролем чистоту океанской среды.

Международный орган по морскому дну (International Seabed Authority) определил три типа деятельности, которые имеют потенциально опасные экологические воздействия: это разведка залежей промышленного масштаба, мелкомасштаб-

ные и прототипные испытания промышленных добычных систем и металлургическая обработка, если она будет происходить в районе залежей [2].

Сейчас перед странами-участницами проекта по добыче конкреций в рудной провинции Клариион-Клиппертон стоит одна общая проблема — как добыть богатства, не навредив окружающей среде. Разработка технологий добычи конкреций ограничивается различными способами подъема их на борт корабля. Наиболее популярные — эрлифтная система с непрерывной цепью черпаков и метод гидроподъема. Первый способ, помимо малой производительности, сопровождается отмывкой конкреций от вмещающей породы на добывающем судне и сбросом ее в подповерхностные горизонты океанской воды. Второй — предполагает предварительную отмывку гидросмеси конкреций от вмещающей породы в придонном трубопроводе (затем должна производиться откачка

отработанной пульпы и укладка ее на дно).

Оба метода негативно влияют на экологическое состояние океанской среды, и в первую очередь на поверхность и толщу донных осадков и прилегающий водный слой (бенталь). В провинции Клариион-Клиппертон глубоководные (более 4 тыс. м) донные сообщества существуют и эволюционируют в слое, расположенном ниже пелагических морских экосистем, от которых они зависят в пищевом плане. Глубоководные участки морского дна составляют примерно половину поверхности Земли. Как правило, температура воды там не превышает 2–4°C, что ограничивает накопление питательных веществ. В таких условиях обитают самые различные организмы — большей частью беспозвоночные (черви и моллюски), причем плотность их популяций невысока. В ходе эволюции эти сообщества приобрели способность выживать на скудном детрите, осаждающемся от

обитающих выше пелагических сообществ.

Можно выделить три вида экологических последствий разработки залежей конкреций на океанском дне, которые в различной степени способны причинить ущерб бентосным (глубоководным донным) живым организмам [3–5]. Во-первых, происходит физическое уничтожение животных, попадающих в полосы прохождения добычного устройства. Во-вторых, организмы будут погребены под слоем взмученных и перераспределившихся осадков. Укладка обратно на дно отработанной при гидроподъеме пульпы сформирует по существу мертвые «мостовые» на месте сложнейшей экосистемы глубоководных осадков, существующих в тесном взаимодействии с океаническими водами. В-третьих, возможно изменение физических и химических условий среды обитания. На дне взмученные осадки негативно влияют на жизнедеятельность бентосных организмов, забивая их фильтрующую пищевую систему. Удаление верхнего слоя осадков, наиболее обогащенного органическим веществом (оседающим из верхних слоев океана), резко снижает количество пищи для бентосных организмов. Кроме того, взмучивание осадка при добычных работах может привести к разрушению глубоководного придонного кислородного слоя и нарушению существующего равновесия в окружающей среде. Как правило, рудные поля первоочередного освоения находятся в зонах с повышенным содержанием растворенного кислорода в морской воде, связанного с низкой температурой воды на глубинах 4–6 км.

Отмывка конкреций от субстрата на палубе, а также неизбежное загрязнение воды добывающими судами могут нарушить привычное состояние верхних слоев водной толщи: увеличится мутность воды, что ухудшит условия для фотосинтеза; изменятся окислительно-

восстановительные свойства среды и снизится активность и разнообразие живых организмов; увеличится накопление токсичных тяжелых металлов.

Непродуманное и малоизученное влияние антропогенного вмешательства может повлечь за собой негативные последствия, вплоть до стимулирования экологических катастроф. К сожалению, ситуация, складывающаяся вокруг освоения океанских руд, подтверждает то, что скорость разрушения биосферы превышает скорость ее познания [6].

Как было сказано выше, существующие методы добычи океанических конкреций сопряжены со значительным экологическим риском для придонных экосистем. Мы предлагаем принципиально новый экологически безопасный способ освоения таких руд [7]. Многолетние химико-минералогические исследования конкреций и корок в Тихом и Атлантическом океанах позволили нам по-другому подойти к проблеме добычи металлов с глубоководного дна океана. Теоретическая основа нашего предложения определяется особенностями геохимии марганца.

Особенности геохимии марганца

Марганец — главный рудообразующий металл железомарганцевых конкреций. Он находится в них в форме свободного гидроксида ($MnO_2 \cdot nH_2O$), обладающего высокой сорбционной активностью — максимальной среди природных сорбентов. Это свойство позволяет ему связывать большой спектр металлов, что в геологически длительные периоды непрерывного роста конкреций приводит к образованию ценных рудных концентратов, с одной стороны, и способствует сохранению стабильного экологического состояния глубоководных районов океана, с другой.

Гидроксиды Mn чрезвычайно чувствительны к условиям среды и существовать в твердой фазе могут только в высоко окислительных условиях современного океанского дна. Снижение окислительно-восстановительного потенциала приводит к восстановлению и растворению гидроксидов Mn и высвобождению всех сорбционно связанных с ними металлов. В природных условиях это происходит при любой активизации эндогенных процессов на океанском дне, как правило, сопровождающейся выбросом раскаленных масс глубинного вещества, резким повышением температуры и снижением содержания кислорода в водной среде. Железо-марганцевые отложения полностью растворяются, и высвободившиеся металлы мигрируют в морскую воду. В восстановительной среде растворенный Mn^{2+} сохраняется до нормализации (окисления) среды, после чего происходит его регенерация и осаждение или соосаждение с другими металлами, имеющимися в растворе. Круговорот Mn в океане замкнут. Этим он отличается от железа, способного формировать в восстановленных осадках собственные минералы или входить в состав других и таким образом частично выводиться из океанского рудогенеза. Марганец же не обладает такой способностью и всегда остается в морской воде — как в окислительных условиях (в твердой фазе), так и в восстановительных (в растворенном состоянии).

Высвобождаясь из континентальных кор выветривания, Mn сносятся в океан с речным стоком и накапливается там, главным образом на поверхности дна, в течение всей геологической истории существования океана на Земле, т.е. в течение миллиардов лет. Только при глобальных катаклизмах возможен вынос Mn на сушу и образование гигантских месторождений в шельфовых зонах континентальных окраин [7].



Рис.2. Морфологические типы железомарганцевых конкреций рудной провинции Кларион-Клайпертон.



Рис.3. Поперечные срезы конкреций с разными формами ядра.



Рис.4. Обрастание зубов древних акул гидроксидами Mn и Fe — одна из промежуточных стадий формирования, приводящая в конечном итоге к образованию округлых конкреций.

Строение и состав конкреций

Внешняя форма конкреции разнообразна, но чаще всего — округлая (рис.2). Рудная фаза представляет собой концентрически слоистые агрегаты, в которых существенно марганцевые и железистые слои чередуются, тесно проникая друг в друга. Нередко встречаются прослои безрудного вещества, представленные осадочным (литогенным) материалом, которые обычно трактуются как признаки прерывистого роста конкреций в изменившихся условиях внешней среды. Это естественно, поскольку конкреции растут со скоростью несколько миллиметров в миллион лет.

В центре конкреций находится ядро (рис.3), которым может служить практически любой кусочек породы, или литифицированного (окаменевшего) осадка, или мелкие остатки древних животных (зубы акул, слуховые косточки китов). Иногда ядром служат фрагменты древних, расколовшихся конкреций (рис.4). Ядра имеют самые причудливые формы, но по мере обволакивания их рудным веществом неровности выравниваются и образования приобретают шарообразную, овальную или эллипсоидальную форму. Соотношение рудной и литогенной (ядро и безрудные прослои) фаз определяет экономическую ценность конкреций. Однако специфический их химический состав обладает уникальным свойством — путем несложной химической обработки можно легко отделить рудную фазу от литогенной, что делает практически все глубоководные конкреции рентабельными для освоения.

Новый способ добычи железомарганцевых руд

Высокая растворимость гидроксидов Mn, а следовательно, и растворение всей рудной фазы железомарганцевых отложений

в восстановительной среде может быть использовано для принципиально нового способа добычи металлов непосредственно на месте их залегания (in situ). При этом совмещаются два технологических процесса — добыча и обогащение руды (поскольку субстрат остается на дне).

В лабораторных условиях для полного извлечения рудной фазы и отделения ее от породы достаточно обработки образца при нагревании (для ускорения реакции) любой разбавленной кислотой (например, 2% H_2SO_4) с добавлением нескольких капель пергидроля. Последний в кислой среде выделяет водород, являющийся сильным восстановителем. Растворение (восстановление) MnO_2 , так же, как и всех связанных с гидроксидами Mn и Fe металлов, производится ионной формой водорода, высвобождающегося по схеме: $H_2O_2 - 2e^- = O_2 \uparrow + 2H^+$. Роль же кислоты ограничивается только созданием кислой среды, и потому такой раствор не агрессивен по отношению к используемому оборудованию. В растворе металлы находятся в ионной форме, что позволит им при помощи выделяющегося кислорода ($O_2 \uparrow$) легко окислиться и перейти в твердую фазу. Последующее осаждение рудного концентрата можно проводить на борту судна [8]. В промышленном варианте в замкнутом пространстве подводного реактора должен быть предусмотрен специальный клапан для выпуска кислорода и беспрепятственного прохождения реакции. Технически это возможно осуществить при двухкамерной конструкции реактора (рис.5). Причем клапан, соединяющий камеры, должен раскрываться под давлением газа (O_2) и автоматически закрываться при его спаде. Для этих целей подходит силиконовая мембрана, позволяющая отделять кислород от жидкой фазы.

От подводного реактора рудный раствор и кислород должны выводиться двумя спаренными шлангами и поступать в спе-

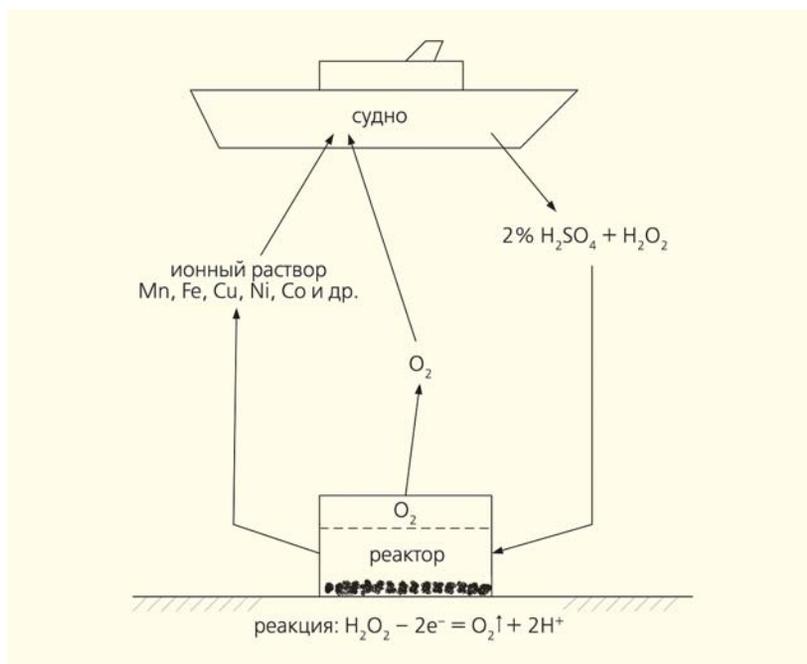


Рис.5. Принципиальная схема экологически чистого способа добычи металлов из Fe-Mn-руд с океанского дна.

циальную емкость на борту судна, где будет производиться осаждение (окисление) рудного концентрата полученным в реакции кислородом. Раствор после осаждения металлов доводится до нужной кондиции и вновь используется в процессе добычи, делая его замкнутым и безотходным.

Технологии in situ mining, подобные описанной выше, часто служат прототипами естественных природных процессов. В данном случае мы воспроизвели процесс, обратный геологически медленному механизму формирования железомарганцевых отложений на океанском дне, — мгновенное разрушение конкреций (корок) путем химической обработки.

Перспективы добычи ЖМК и проблема сохранения океанской среды

Океан — главная составляющая часть нашей планеты, создающая и контролирующая условия существования всего живого. Большая ответственность за его

сохранение лежит на человечестве. Прежде чем осваивать кладовые, покоящиеся в самом «сердце» океана, необходимо твердо знать все возможные последствия данного мероприятия. К сожалению, в интересы практиков, хорошо представляющих, какие дивиденды может принести подобная добыча, в малой степени входит научная изученность океанского рудогенеза и экологических рисков при освоении месторождений.

С извлечением конкреций — активнейших сорбентов и окислительных катализаторов — океан теряет возможность естественного очищения воды от токсичных излишков микроэлементов, и, что также немаловажно, из океана изымаются огромные запасы кислорода (более 30%), которыми насыщены гидроксиды Mn и Fe. Как уже упоминалось, в областях распространения конкреций на глубоком дне отмечаются придонные горизонты повышенных содержания растворенного кислорода. Это огромные количества легко мобилизуемого кислорода, способные погасить любые нега-

тивные последствия эндогенных катаклизмов, широко распространенных в отдельных зонах океанского дна (зоны спрединга) или внезапно возникающих на океанском дне.

Еще раз посмотрим на схему раздела рудных полей (см. рис.1), закрепленных МОД ООН между ведущими странами мира и консорциумами в богатейшей рудной провинции Тихого океана Кларифон-Клиппертон. Хорошо видно, что это единая протяженная область океанского дна площадью более 3 млн км², разделенная на множество отдельных участков подобно лоскутному одеялу.

Теперь представим себе, что на каждом участке будет стоять добывающее устройство (по-видимому, разной конструкции) и производить подъем конкреций и сброс пустой породы обратно в океан. В таких условиях избежать серьезных негативных изменений в экосистеме океана будет невозможно.

В заключительной части мы остановимся на конкретном предложении по добыче океанских руд всем международным сообществом. Было бы целесообразно осваивать единую площадь коллективными усилиями

заинтересованных стран-участниц с помощью одного общего добычного агрегата, представляющего собой крупную плавучую платформу. В ее центральной части располагается спускаемый реактор, снабженный всем необходимым оборудованием и имеющий форму полусферы. Сбор конкреций и помещение их в чрево реактора (где происходит растворение и отделение металлов от субстрата) производится специально сконструированными автономными механизмами (наподобие луноходов). Радиус действия таких сборщиков конкреций определяется выбранной для освоения площадью рудного поля. Другие технические детали должны разрабатываться специалистами. Хотелось бы подчеркнуть главное: это реально осуществимо при современном уровне развития техники. Необходима, однако, международная договоренность между странами-участницами освоения океанских кладовых и, соответственно, открытость способов добычи для оценки их экологической безопасности.

Плавучая платформа должна быть снабжена всем необходимым оборудованием для осажде-

ния подаваемых по шлангу растворенных металлов и регенерации растворителя. Разумеется, она должна быть оборудована и причальными терминалами для судов-металловозов. Учет экономических интересов стран-участниц при такой добыче может легко контролироваться МОД ООН. Эта же организация получит возможность непосредственно контролировать сохранность окружающей среды.

При отработке одной площади платформа перемещается на новую, и таким образом постепенно происходит освоение всей рудной провинции. Океанская среда едва ли выдержит единовременную добычу сразу на всей огромной площади самой стерильной и самой ранимой области, на формирование которой ушло не менее 2–3 млрд лет. Но постепенное (участок за участком) освоение рудной провинции значительно снизит антропогенную нагрузку и позволит уменьшить экологические риски для экосистем океана.

В заключение отметим, что в основе изложенного предложения лежат реальные научные исследования и обоснования, пренебрегать которыми нельзя. ■

Работа выполнена при финансовой поддержке: Программы 17 (20) Президиума РАН; Российского фонда фундаментальных исследований (проект 06-05-64152а); ФЦП «Мировой океан» Минобрнауки РФ; гранта ведущих научных школ (№НШ-7091.20.10.5).

Литература

1. Минеральные ресурсы Мирового океана. Концепция изучения и освоения. (на период до 2020 г.) // Минприроды РФ. ФГУП ВНИИОкеангеология. СПб., 2007.
2. <http://www.isa.org.jm/>
3. *Nath B.N., Sharma R.* // *Georesour. Geotechnol.* 2000. V.18(3). P.285–294.
4. Indian Deep-Sea Environment Experiment (INDEX): A Study for Environmental Impact of Deep Seabed Mining in Central Indian Ocean // *Deep-Sea Res. II: Top. Stud.* / Ed. R.Sharma. *Oceanogr.* 2001. V.48(16). P.3295–3426.
5. Prospects for international collaboration in marine environmental research to enhance understanding of the deep-sea environment // *Proceedings of the International Seabed Authority's Workshop.* Kingston, Jamaica. 29 July to 2 August 2002. 2006.
6. *Павлов Д.С., Стриганова Б.А., Букарева Е.Н.* Экологическая концепция природопользования // *Вестник РАН.* 2010. Т.80. №2. С.131–140.
7. *Базилевская Е.С.* Исследование железомарганцевых руд океана. М., 2007.
8. *Базилевская Е.С.* Научное обоснование экологически чистого способа освоения Fe-Mn-руд океана // *Докл. АН.* 2008. Т.420. №5. С.651–653.

Палеоэкологический палимпсест

С.В.Наугольных

Счищая осторожными и точными движениями позднейшие наслоения, реставратор добирается до оставленной кем-то давным-давно и погребенной в черноте небытия записи-палимпсеста, освобождая ее от дописок и добавлений. Это так похоже на работу палеонтолога, но — с поправкой на временные масштабы, ведь в палеонтологии речь идет не о сотнях и тысячах, а о десятках и сотнях миллионов лет.

Исследования в духе классической, канонической палеонтологии обычно сконцентрированы на решении проблем систематики ископаемых организмов. Как правило, большая часть публикуемых палеонтологических работ касается описания новых видов и родов, реже — систематики семейств и таксонов более высокого уровня. Этим вопросом посвящаются крупные обзорные и обобщающие монографии с ревизиями систематических и классификационных схем. Нередко подробно рассматриваются также вопросы филогении таксонов разного уровня.

Все, что имеет отношение к взаимодействию древних животных и растений между собой или со средой обитания, равно как и реконструкция отдельных палеобиогеоценозов и даже целых экосистем, относится к палеоэкологии. Эту геолого-биологическую дисциплину тем не менее вполне можно рассмат-



Сергей Владимирович Наугольных, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института РАН. Научные интересы: палеонтология, палеоэкология, систематика и эволюция высших растений, изучение палеопочв. Постоянный автор «Природы»

вать в составе Большой Палеонтологии, несмотря на то, что предмет палеоэкологических исследований, как, впрочем, и методологическая основа, весьма своеобразны.

Основная цель палеоэкологических исследований — выявить те связи, которыми были объединены организмы, населявшие экосистемы геологического прошлого. Итогом работы станет реконструкция этих экосистем. Трофические цепочки, связывавшие разные компоненты древних, давно исчезнувших экосистем, подчас не имеют прямых аналогов в современном мире. Именно поэтому пищевые цепи оказываются особенно важными в палеоэкологических построениях. Примеру выявления и изучения одной из таких трофических цепочек и посвящена статья.

Во время первой геологической поездки по России Р.И.Мурчисон сначала принял мощную толщу красноцветных отложе-

ний, обнажавшихся в бассейне Волги и далее к востоку, в Пермской губернии, за девонскую. Приставленный к европейским коллегам поручик Н.Кокшаров поправил мэтра с туманного Альбиона: это не девон, а новый красный песчаник, залегающий над «горным известняком» (так называли тогда карбонатные отложения каменноугольной системы и нижней части пермской системы). К «горноизвестковой толще» в то время относили и морские отложения казанского яруса. Разрешить вопрос о возрасте «нового красного песчаника» мог лишь такой разрез, где были бы видны красноцветы, непосредственно налегающие на морские известняки. Такое место есть. Это Монастырский овраг. Там верхнепермские красноцветы контактируют с нижележащими сероцветными отложениями казанского яруса.

В европейской части России таких представительных (пожалуй, даже шикарных, на взгляд



Средняя часть Монастырского разреза, уржумский ярус. Хорошо видно чередование светлых карбонатных и красноватых глинисто-песчаных элювиальных отложений. Слева — С.А.Иноземцев; экспедиция июля 2000 г.

«платформенного» геолога) разрезом, как Монастырский овраг, буквально раз-два, и обчелся.

Разрез Монастырский овраг находится на правом берегу Волги у с.Монастырское, в 5 км к северу от г.Тетюши, расположенного в юго-западной части Татарстана. Общая мощность

пермских отложений, обнажающихся в бортах оврага от его устья до истока, составляет более 150 м, что создает уникальные возможности для геологических исследований.

Хорошая обнаженность, литологическое разнообразие слоев, встречающиеся в них органи-

ческие остатки позволяют проводить в Монастырском овраге детальные палеоэкологические исследования.

Впервые я оказался на этом разрезе в 1998 г., во время международного симпозиума «Верхнепермские стратотипы Поволжья». Организован он был геологами Казанского университета под общим патронажем Кабинета министров Татарстана [1]. Симпозиум проводился на корабле «К.Э.Циолковский», причем «кабинетные» заседания с докладами и их обсуждением чередовались с геологическими экскурсиями. Желая посетить наиболее интересные и важные разрезы, расположенные в среднем течении Волги и низовьях Камы. В число экскурсионных объектов входил и Монастырский овраг.

Первое, что мне бросилось в глаза при знакомстве с этим разрезом, — наличие в нем нескольких уровней с классическими карбонатными палеопочвами и корневыми остатками высших растений. Ископаемые корни в Монастырском овраге представлены несколькими формальными видами, среди которых доминировали *Radicitest sukbonensis*. В средней части разреза нашлся слой лессита — ископаемого лесса. В верхней же части были видны красноватые палеопочвы еще одного типа. Залегали они над мощным слоем аллювиальных песчаников, покрытых пластом озерных плитчатых мергелей. К сожалению, за одну короткую экскурсию внимательно все осмотреть просто не хватило времени. Уже после симпозиума я самостоятельно съездил на Монастырский разрез и убедился в том, что им следует заняться всерьез.

Через год мы вместе с палеопочвоведом С.А.Иноземцевым организовали и осуществили специальную экспедицию в Монастырский овраг. В этот раз мы собрали много новых и интригующих материалов по пермским палеопочвам (частично уже

опубликованных). Однако попутно с палеопочвенедческой работой мне посчастливилось заметить здесь и нечто, на мой взгляд, необычное.

Зачищая стенку для описания палеопочвенного профиля, я нашел в нижележащем слое плотного плитчатого мергеля несколько отпечатков рыб. Слово «отпечаток» на самом деле к ним мало подходит. Сохранились рыбы великолепно: были видны плавники, чешуя и даже темные округлые пятнышки на месте зрачков. Большинство найденных остатков рыб относилось к виду *Platysomus biarticus*, описанному одним из отцов российской палеонтологии Э.И.Эйхвальдом еще в середине XIX в.

Остатки платисомусов встречаются в верхнепермских отложениях довольно широко [2]. Эти высокотельные рыбки из группы палеонисков иногда достигали относительно крупных размеров, до 20–30 см в длину. Известный саратовский палеонтолог М.Г.Миних сравнивал их с современными тропическими рыбками, которые обитают на коралловых рифах. Однако жили платисомусы скорее всего в других условиях.

Судя по отложениям с остатками платисомусов, эти рыбы предпочитали спокойные неглубокие озера и питались мелкими беспозвоночными, в основном ракообразными — конхостраками. Платисомусам из Монастырского оврага были свойственны половые различия: самцы, остатки которых встречаются реже, оказались крупнее, их эффектные двулопастные хвосты больше, чем у самок, а плавники сильнее развиты. Богатая коллекция остатков платисомусов из этих отложений хранится в Геолого-палеонтологическом музее Казанского университета. Часть коллекции была продемонстрирована участникам казанского симпозиума 1998 г.

Внимательно рассматривая остатки платисомусов, понав-



Отпечаток платисомуса. Этот отпечаток — пример великолепной сохранности остатков платисомусов из Монастырского оврага.

шиеся мне при зачистке профиля, я обнаружил в брюшной части двух экземпляров крупные выемки удивительно правильных очертаний, одинаковых размеров и формы. Возникло впечатление, что какой-то хищник буквально выкусил лакомую, наиболее мягкую часть тела своей добычи.

Верхняя часть слоя, где находились остатки рыб, была разбита на многоугольные пластины трещинами усыхания. Очевидно, после того как мелководное озеро, в котором жили платисомусы и таинственный охотник, ими питавшийся, высохло, карбонатный ил затвердел и разошелся под палящими лучами горячего пермского солнца. Со временем серые озерные мергели покрылись элювиальными красноцветными алевролитами, по которым спустя еще сотни или даже тысячи лет образовалась палеопочва.

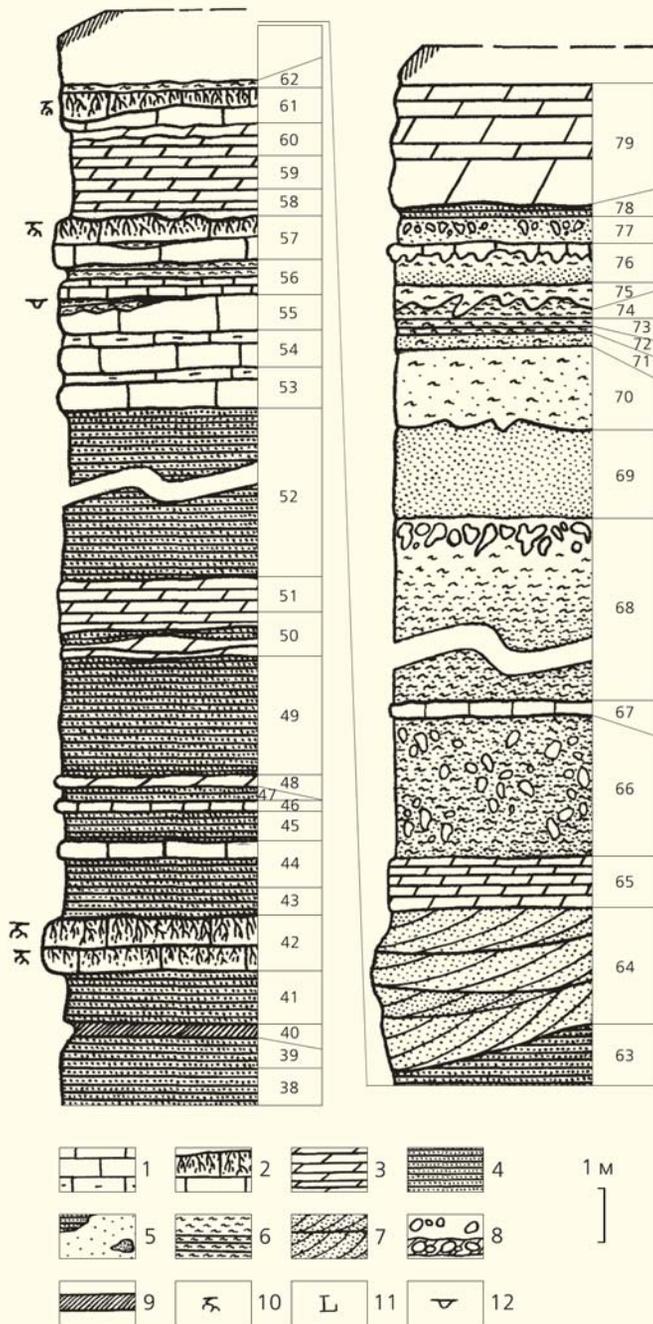
Аккуратно разбив плитки мергеля по поверхностям напластования, я вскоре обнаружил новые следы жизнедеятельности пермского хищника.

В слое плитчатых мергелей то и дело попадались белесые

образования эллипсоидной, реже округлой формы (от 3 до 6 см в длину и около 1.5–3 см в поперечнике), буквально набитые чешуей платисомусов. В том, что это именно она, я очень легко убедился. Чешуйки были характерной удлиненно-трапециевидной формы со специфическим косо-струйчатым рельефом внешней поверхности, свойственным чешуе платисомусов. Я понял, что передо мной копролиты — окаменелые экскременты пермского хищника, охотившегося за платисомусами и, очевидно, жившего в том же озере или где-то поблизости на его берегах.

Несмотря на все дальнейшие тщательные поиски, ни одной косточки загадочного охотника за платисомусами найти не удалось.

В палеоэкологии, помимо наблюдений, большое значение имеют аналитические, дедуктивные построения. Мне захотелось попробовать распутать весь клубок, опираясь только на те сведения об органическом мире пермского периода, которые палеонтологам уже известны. Кончик ниточки, тянущейся от покусан-



Стратиграфические колонки верхней части разреза Монастырский овраг. Копролиты таинственного хищника и покусанные платисомусы найдены в слое 65. 1 — известняки и почвенные карбонаты; 2 — палеопочва с корневыми остатками высших растений; 3 — мергели; 4 — алевролиты; 5 — лесситы; 6 — глины и аргиллиты; 7 — пески и песчаники с косою слоистостью; 8 — карбонатные стяжения и педондулы; 9 — плотный малиновый алевролит, используемый в качестве стратиграфического маркера (слой 40); 10 — уровни с корневыми остатками, сохранившимися *in situ*; 11 — уровень с отложениями эолового генезиса (L — лесситы); 12 — уровни с поверхностями карстования и карманами поверхностного растворения карбонатов. Длина масштабной линейки — 1 м. Хорошо видно чередование карбонатных палеопочв, алевролитов и плитчатых мергелей.

ных рыбок к копролитам с чешуей, уже был у меня в руках.

Форма и размер копролитов довольно отчетливо указывали на то, что они были оставлены кем-то из позднепермских тетрапод. Рыбам копролиты таких размеров и формы несвойственны. В верхнепермских отложениях изредка встречаются копролиты акул, обитавших в обширных, но мелких пресноводных или солоноватоводных озерах и лагунах. Но на акульих копролитах остается отпечаток анального спирального клапана. На копролитах из Монастырского оврага следов клапана не было.

Судя по размеру копролитов, длина тела таинственного пермского охотника должна была составлять около полутора-двух метров. Среди пермских тетрапод этого размерного класса и следовало дальше вести поиски.

По мнению эксперта по позднепермским позвоночным М.Ф.Ивахненко, многие тетраподы, обитавшие во второй половине пермского периода на территории Русской платформы и Приуралья, питались рыбой [3]. Я исключил из числа кандидатов все потенциально рыбацкие формы заведомо меньших размеров (лепторофид, дискозаврисцид, карпинскиозаврид). Не отнес к интересующим меня хищникам и животным, принадлежавшим более крупному размерному классу (титанофонеусов, долиозаврисков), время жизни которых (или их самых ближайших и непосредственных родственников) захватывало уржумский и северодинский века позднепермской эпохи. В результате у меня остались животные только трех родов, претендующие на роль охотника за платисомусами.

Первый кандидат — лабиринтодонт платиопозавр, явный рыбофаг [4]. Экологически он скорее всего напоминал современных крокодилов — гавиалов, которые охотятся в мутных тропических реках Индии и Индокитай [5].



Копролиты таинственного хищника, буквально набитые чешуей платисомусов.

Вторым претендентом мог быть мелозавр, который тоже относится к земноводным лабиринтодонтам. Мелозавр, несмотря на близкое родство с платиопозавром, охотился иначе. По всей видимости, он нападал на проплывавших мимо рыб, делая короткий и мощный рывок из укрытия на дне.

Третьим претендентом стало пресмыкающееся рода сиодон. Ископаемые остатки этих рыбоядных хищников известны из отложений казанского яруса, т.е. из несколько более древних слоев, чем те, которые содержали платисомусов и копролиты в Монастырском овраге. Непосредственные потомки этого рода безусловно продолжали жить и в уржумское время, поэтому я оставил сиодона в числе потенциальных кандидатур на роль охотника за платисомусами.

Однако из трех претендентов предстояло выбрать лишь одного.

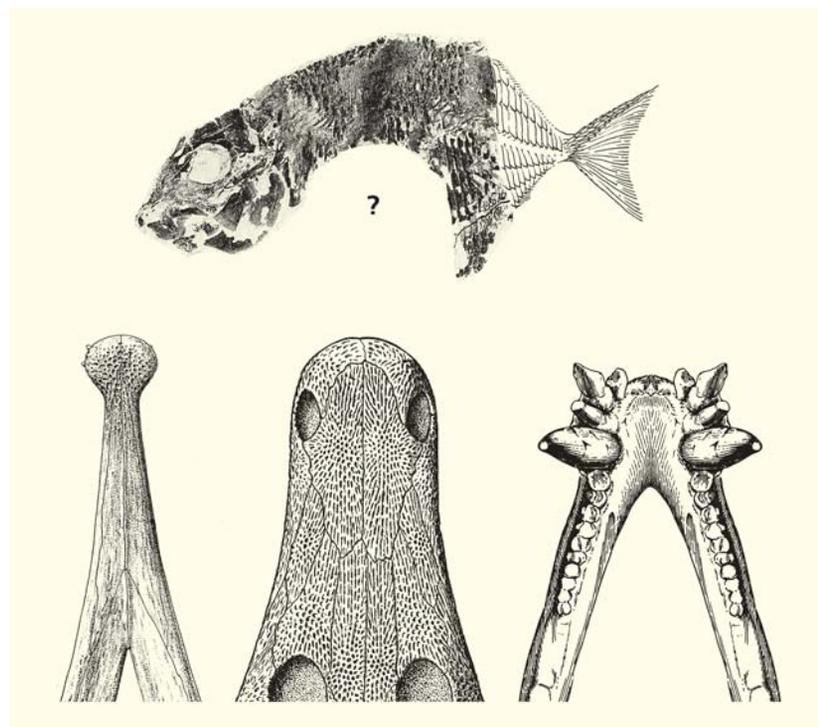
Сделать окончательный выбор помогла форма укусов, оставленных на теле рыб. Сопоставив форму челюстей платиопозавра, мелозавра и сиодона с очертаниями укусов, я с полной уверенностью отодвинул в сторону двух «проигравших» кандидатов. Челюсти платиопозавра и сиодона, не соответствовали форме и размеру укусов на теле платисомусов. А вот че-

люсти мелозавра, ну прямо как туфелька Золушке, идеально подошли к очертаниям укуса. Под весом неоспоримых улик загадочный хищник пермского периода был изобличен.

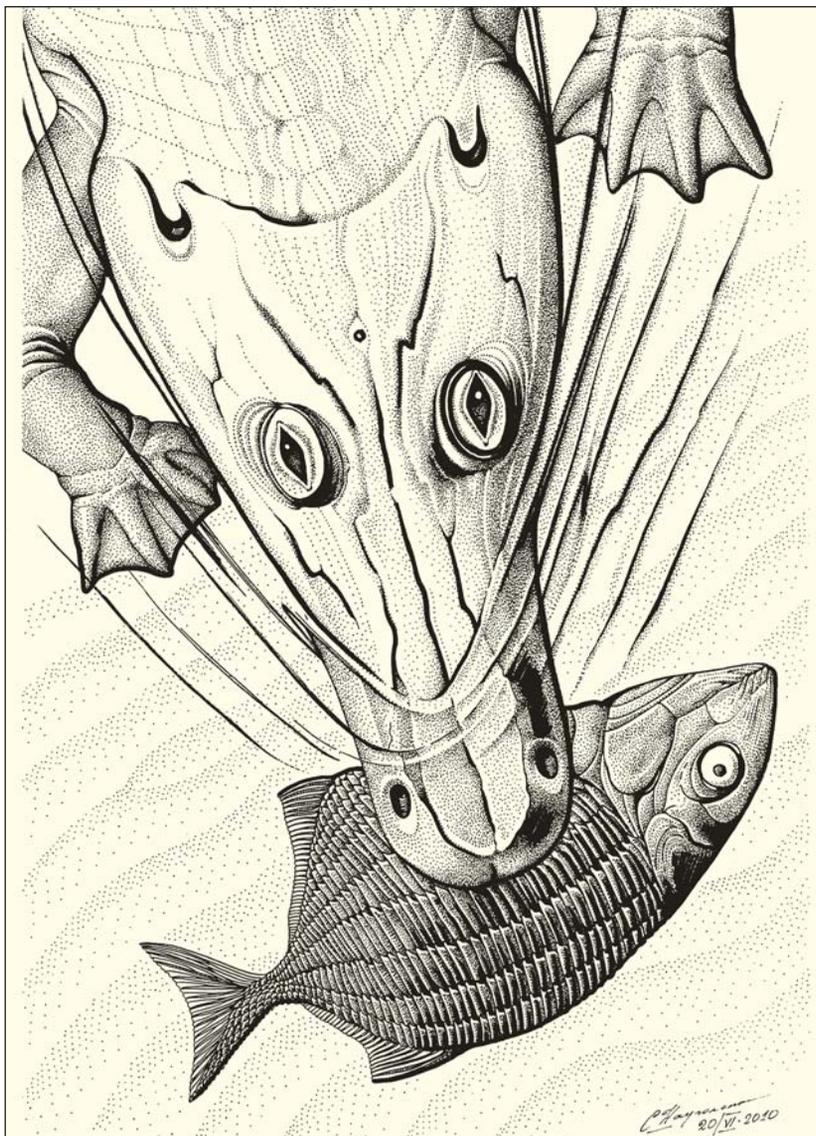
Это небольшое палеоэкологическое расследование оказалось, как мне хотелось бы наде-

яться, ненапряжным. Он позволило с высокой степенью достоверности реконструировать одну из трофических цепочек, связывавших компоненты древней экосистемы.

Как же менялся ландшафт в позднепермскую эпоху в том месте, где сейчас находится Мо-



Один из покусанных экземпляров платисомусов (вверху) и челюсти потенциальных кандидатов на роль таинственного хищника (слева направо): платиопозавра *Platyoposaurus stuckenbergi* [5, рис.12], мелозавра *Melosaurus uralensis* [5, рис.1], сиодона *Syodon praeventor* [6, рис.17, с изменениями].



Момент удачной охоты мезозавра. Мощный бросок из засады, и в его челюстях добыча — проплывавший над дном мелководного пермского озера платисомус. Видно, насколько совпадает форма покуса на теле рыбы с очертаниями челюсти земноводного животного.

настырский овраг? Чтобы понять это, проанализируем слой за слоем.

В нижней части Монастырского разреза обнажены отложения казанского яруса — серые известняки с морской фауной, — последние следы исчезавшего казанского моря. Над ними залегают огромная толща, в которой ритмично чередуются красные и бурые алевролиты, плитчатые мергели и массивные кавернозные карбонатные калькреты. Алевроли-

ты образовались за счет плоскостного смыва, мергели — из осадков, накопившихся на дне эфемерных плайевых озер. Калькреты же представляли собой известковую палеопочву и были пронизаны «корневыми ходами», или «корневыми трубками» — следами корневых систем высших растений. Строение типичного ритма в Монастырском разрезе выглядит следующим образом: на карбонатный калькрет, нередко с закарстованной верхней поверхнос-

тью, ложится слой бурого или красного алевролита. По линии контакта обычно располагаются сизые глинистые пленочки — результат оглеения алевролита, богатого окислами железа. В ходе оглеения оно восстанавливается ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$), и окислы превращаются один в другой, при этом их цвет меняется от красного до голубоватого. Алевролит сменяется озерным мергелем, над которым снова залегают палеопочвы. Таких ритмов в Монастырском разрезе насчитывается около десятка, но ритмичность выдерживается не везде. Мощность слоев тоже варьирует в относительно широких пределах — от первых десятков сантиметров до полуметра, а иногда и более. Но в целом строение ритмов сохраняется на протяжении 70–80 м разреза, охватывая весь объем уржумского яруса и нижнюю часть северодвинского. Длительность каждого ритма составляет несколько тысяч лет. За это время плайевые озера высыхали, на карбонатных озерных осадках развивались палеопочвы, их заселяли засухоустойчивые растения. Затем почвообразование прекращалось, растения погибали, занесенные элювиальными пустынными красноцветами. Далее засушливый климат сменялся более влажным, выпадали обильные осадки, появлялись новые эфемерные плайевые озера, из отдаленных рефугиумов возвращались растения и животные. Начинался новый цикл.

Через какое-то время этот процесс повторялся и продолжался снова и снова.

Такое чередование прервалось лишь однажды — в середине уржумского века. Этот уровень в Монастырском разрезе отмечен 4–5-метровой толщей ископаемого лесса [6]. Его происхождение пока не совсем ясно. Скорее всего, этот слой отражает еще более аридный и, возможно, более холодный климатический эпизод, когда ветры-суховеи надули на перм-

скую равнину мощную толщу пылеватых частиц, из которых и состоит лесс.

О крайней аридизации можно судить по косвенной «улике». Более или менее правильное чередование желтовато-серых калькретов, красных алевролитов и белых озерных мергелей прерывается в верхней части северодвинских отложений. Здесь залегают мощная толща желтоватых песчаников руслового генезиса, с характерной для них кохой слоистостью. Очевидно, в это время там протекала река, но не совсем похожая на современные реки. Ее русло не было постоянным, а хорошо проработанная долина с поймой и тер-

расами, столь типичными для современных равнинных рек, отсутствовала. Похожие «блуждающие» речные русла иногда встречаются в пустынях.

В полуметровом слое озерных мергелей, как уже говорилось, и были найдены платисомусы и копролиты мелозавра. Когда-то здесь, в водах обширного, но мелководного олиготрофного пермского озера плавали изящные высокотельные рыбки, за которыми хищно следили из своих подводных засад лабиринтодонты — мелозавры. Судя по попадающимся в озерных отложениях обрывкам кутикулы высших растений, берега этого озера тоже не были абсо-

лютно безжизненными. Берега покрывали растения, экологически напоминавшие те, что сейчас встречаются в оазисах южного Средиземноморья. В основном это были пельгаспермные птеридоспермы рода пурсонгия и, возможно, еще нескольких близких родов, а также вольциевые хвойные.

Прошли тысячи лет, древнее озеро высохло, дно его превратилось в гигантский пустынный такыр, но и его вскоре занесли красноватые пески. А в мергелях, погребенных под наслоениями песков и алевролитов, сохранились следы пермских трагедий и радостей удачной охоты. ■

Литература

1. *Наугольных С.В.* Международная конференция «Верхнепермские стратотипы Поволжья»: впечатления палеоботаника // Палеонтологический журнал. 2000. №1. С.107—108.
2. *Tverdokblebov V.P., Tverdokblebova G.I., Minikh A.V. et al.* Upper Permian vertebrates and their sedimentological context in the South Urals, Russia // Earth-Science Reviews. 2005. V.69. P.27—77.
3. *Ивахненко М.Ф.* Тетраподы восточноевропейского плаката — позднепалеозойского территориально-природного комплекса // Труды Палеонтологического института. Т.283. Пермь, 2001.
4. *Губин Ю.М.* Пермские архегозавроидные амфибии СССР // Труды Палеонтологического института. Т.249. М., 1991.
5. *Конжукова Е.Д.* *Platyops stuckenbergi* Trautsch. — архегозавроидный лабиринтодонт нижних зон верхней перми Приуралья // Материалы по пермским и триасовым наземным позвоночным СССР. М., 1955. С.89—127.
6. *Чудинов П.К.* Ранние терапсиды // Труды Палеонтологического института. Т.202. М., 1983.

ПРИРОДА

популярной
естественно-научно-технический журнал

Подъ редакціей

проф. Н. К. Кольцова и проф. Л. А. Тарасевича.

Иностраннымъ научнымъ журналамъ предоставляется право перевода оригинальныхъ статей и воспроизведеніе рисунковъ при условіи точной ссылки на источникъ.

Русскимъ изданіямъ перепечатка статей и воспроизведеніе рисунковъ, помѣщаемыхъ въ журналъ „Природа“, могутъ быть разрѣшены лишь по особому соглашенію.

ЛАНТ

ЛАНТ

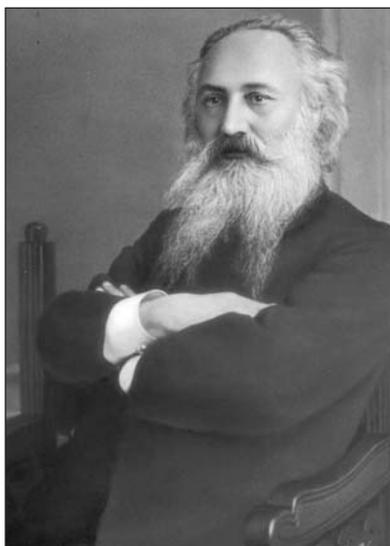
1915

Первые шаги в деле распознавания расположения атомов в кристаллах

Профессор Е.С.Федоров

Не только для непосвященных людей, но и для людей, отдавших значительную часть своей жизни делу изучения кристаллов, открытие физических методов, устанавливающих относительное расположение атомов, явилось неожиданным и поразительным. Конечно, специалисты в этом отношении знали уже немало; они даже вполне точно предусматривали законы допустимых расположений. Но до самых последних лет не усматривалось и намека на возможность изучения такого расположения экспериментальным путем, на возможность, так сказать, непосредственного ощупывания отдельных атомов, хотя бы и при помощи весьма тонких физических приборов.

Нельзя не считать великим завоеванием человеческого ума то обстоятельство, что он и до открытия этих способов привел к пере-



Академик Евграф Степанович Федоров (1853—1919).

числению всех вообще возможных расположений; но то, что было сделано до сих пор, было лишь введением в новую область, экспериментальным методом которой теперь положено прочное основание. Однако, как это почти всегда и бывает, вводная часть новой науки, ясно поставив ближайшие вопросы и задачи, само собой наталкивала на открытие новых методов, когда это оказалось вообще возможным по ходу развития физических наук.

Это совершилось летом 1912 г. в лаборатории физика, который, изучая природу рентгеновских или так называемых X-лучей, понял, что свойства этих лучей дают возможность экспериментальной проверки тех главных особенностей в расположениях атомов в кристаллах, которые давно были установлены кристаллографами.

К числу этих особенностей относится, между прочим, то, что, если бы мы узнали относительное расположение некоторых четырех ближайших и притом одинаковых атомов, то уже одним этим определилось бы расположение безграничного множества таких же атомов в исследуемом кристалле.

Остановимся в нашем воображении на одном из этих четырех атомов и соединим мысленно прямыми линиями этот атом с тремя другими. Пусть расстояния до этих трех атомов выразятся длинами a , b и c ; в таком случае на прямой, заключающей отрезок a , окажется безграничный ряд атомов, из коих каждый следующий отстоит от предыдущего на том же расстоянии a , которое является поэтому общим промежутком ряда атомов на этой прямой (такой безграничный ряд равноотстоящих точек принято называть конгруэнтным рядом); такие же конгруэнтные ряды получатся и на прямых, заключающих отрезок b и отрезок c ; но понятно, что вообще промежутки этих трех рядов различны, если различны отрезки a , b и c .

Если примем во внимание, кроме исходного, только два атома, то получим не только два конгруэнтных ряда атомов, сходящихся в исходном атоме, общем для обоих рядов, но безграничное множество и других; мы можем именно за исходный принять каждый из атомов обоих конгруэнтных рядов; каждый такой атом отметит новый конгруэнтный ряд, одинаковый и параллельный другому найденному конгруэнтному ряду.

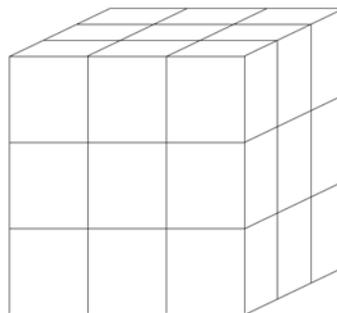
В результате получим такое расположение атомов в одной плоскости, как будто они составляли точки пересечения двух систем параллельных линий, в каждой из которых прямая проведена на равном расстоянии друг от друга. Две системы таких линий разделяют плоскость на равные параллелограммы, которые составляют как бы ячейки системы.

Такую систему мы получили бы из большого числа равных параллелограммов, если бы стали их вплотную укладывать друг на друга, прикладывая их равными сторонами. Такие системы точек в кристаллографии называются плоскими сетками.

Как мы из исходного атома, приняв во внимание два конгруэнтных ряда a и b , получили определенную плоскую сетку, так, приняв во внимание третий конгруэнтный ряд c , мы из каждой точки последнего, принятой за исходную, получили бы равную и параллельную плоскую сетку; и все плоскости этих параллельных плоских сеток отстояли бы друг от друга на равном расстоянии.

В конце концов мы увидели бы, что все вообще полученные таким образом одинаковые атомы расположились как вершины равных параллелепипедов; эту систему мы могли бы воспроизвести из безграничного числа равных параллелепипедов, прикладывая один к другому равными гранями. Такое расположение точек в кристаллографии называется пространственной решеткою.

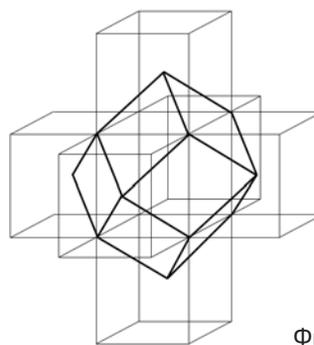
Простейшим типом таких решеток может служить система, составленная из плотно приложенных друг к другу равных кубов, как это изображено на фиг.1. Такие системы охотно составляют из кубиков маленькие дети.



Фиг.1

Из курсов кристаллографии известно, однако, что так же, как мы можем вплотную укладывать кубики, можно укладывать и другие фигуры. Теперь для нас важно понять укладку ромбических додекаэдров.

Если мы к каждой из шести граней куба приложим по одному кубу и соединим линиями центры полученных шести кубов с ближайшими четырьмя вершинами первого куба (см. фиг.2), то получим

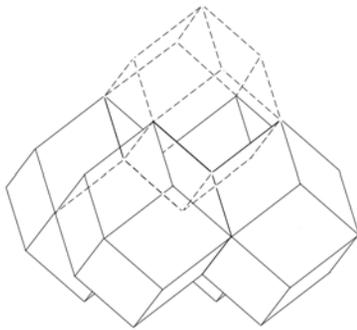


Фиг.2

двенадцатигранник с гранями в виде равных ромбов, а стороны этих ромбов и есть не что иное, как проведенные линии (всего в числе $24-x$). У этого многогранника вершины двоякого рода: одни из них представлены центрами приложенных кубов, и в них сходится по 4 ромба; другие представлены вершинами взятого первого куба, а в них сходится по 3 ромба. Многогранник называется ромбическим додекаэдром, вершины первого рода называются тетрагональными, а вершины второго рода тригональными.

На фигуре 3 наглядно показано, как можно вплотную прикладывая друг к другу эти многогранники равными гранями. Тут изображены вплотную приложенные друг к другу вертикаль-

ными гранями четыре ромбических додекаэдра. Такими четырьмя фигурами определяется безграничный горизонтальный слой этих фигур; он получится, если мы будем к сложенным уже продолжать примыкать все новые и новые додекаэдры, и всегда по вертикальным граням.



Фиг.3

Когда слой таким образом будет воспроизведен, мы в каждое углубление между четырьмя додекаэдрами можем вставить еще таковой же, и он вплотную приложится четырьмя своими косыми ромбами к косым же ромбам четырех додекаэдров полученного слоя, как это и показано на фиг.3 пунктиром.

Но если к вновь приложенному додекаэдру мы снова начнем вплотную прикладывать другие по вертикальным ромбам, то из него воспроизведем другой горизонтальный слой додекаэдров, одинаковый и параллельный с полученным раньше и притом вплотную к нему прилегающий косыми ромбами.

Ясно, что таким образом мы можем накладывать друг на друга сколько угодно новых горизонтальных слоев.

Этого маленького введения вполне достаточно, чтобы понять, каким образом физики наткнулись на способ определять расположение атомов, и в частности понять полученное ими распределение на ряде простейших случаев.

Если дадим себе отчет, что представляет из себя кристаллическая плоскость, то по только что изложенному относительно пространственных решеток мы увидим, что она несет на себе безграничное множество равных атомов, расположенных в виде плоской сетки, а на каждую такую мы можем смотреть, как на ряд параллельных и равноотстоящих прямых, в свою очередь составляющих конгруэнтные ряды атомов.

Но если мы, например, на стекле, нацарапаем просто ряд параллельных прямых, соблюдая строгое равенство расстояний между ними, то получим то, что называется дифракционной решеткой, если только ряд царапин сделаем густым, по крайней мере от 100 до 200 на один миллиметр.

Эффект же, производимый дифракционной решеткой, состоит в том, что от брошенного на

нее узкого пучка белого света мы получим пучок широко расходящихся цветных лучей — так называемый дифракционный спектр. Явление обуславливается тем, что от нашего пучка света на каждой нацарапанной точке стекла вызовется вторичный отброшенный белый свет; и волны света, исходящего из точек, равноотстоящих и лежащих на прямой линии (конгруэнтный ряд точек), будут интерферировать, т.е., смотря по направлению, одни цветные лучи будут усиливать, а другие ослаблять друг друга, причем для каждого данного направления будут определенные цветные (однородные, т.е. одной определенной длины волны) лучи, напряженность которых получится максимальной, и другие лучи, напряженность которых станет равною нулю (это зависит от разности хода соседних лучей данного направления). Таким образом, каждый цветной луч дифракционного спектра составлен вообще из всех лучей, входящих в белый свет, но с разною напряженностью, которая для одного определенного луча нисходит до величины нуля.

По углу же отклонения каждого дифракционного луча, зная промежуток ряда дифракционной решетки, мы можем определить длину волны, соответствующей лучу с максимальной напряженностью, как и длину волны, соответствующей лучу, подвергающемуся полной интерференции.

Когда подробные физические исследования установили тот факт, что X-лучи суть такие же волновые явления, как и свет, но с тем лишь существенным различием, что представленные здесь длины волн примерно в тысячу раз меньше, чем в волнах видимого света, стало ясно, что можно было бы получить дифракционные решетки и для этих лучей; но ясно, что для получения эффекта понадобились бы решетки с примерно в тысячу раз более густым расположением полосок. Но хотя механически таких дифракционных решеток получить уже нельзя, зато мы имеем такие решетки готовыми в виде плоских сеток в кристаллах, так как именно расстояния между одинаковыми атомами такого порядка, что именно в них конгруэнтные ряды отстоят друг от друга примерно в тысячу раз меньше длин волн света.

Поэтому световые лучи, пропущенные чрез кристаллическую пластинку, не дают заметной дифракции; но дифракция должна резко проявиться при пропускании X-лучей.

Первым наткнулся на эту идею цюрихский физик Лауе, и его инициативе принадлежит осуществление первых экспериментов воспроизведения на фотографической пластинке явления дифракции от пропускания X-лучей в виде очень тонкого пучка.

Удавшиеся фотографические воспроизведения произвели на ученый мир ошеломляющее впечатление. Появился новый метод ощупывания атомов¹.

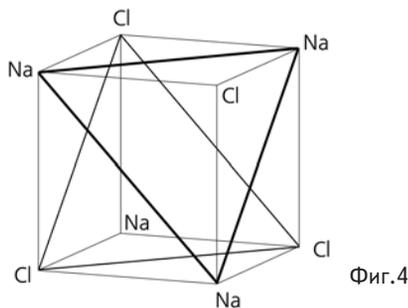
¹ Об этом уже было изложено в журнале «Природа» в статье Ю.В.Вульфа. (См. январь 1913 г.).

Но для того чтобы на основании явлений дифракции, запечатленных на фотографической пластинке, можно было сделать заключение о расположении самих атомов в испытуемом кристаллическом веществе, нужно было создать еще соответствующую теорию, а также еще более углубиться в результаты экспериментирования X-лучами.

Первая теория, составленная самим Лауе, не выдержала всех экспериментальных испытаний, и только кембриджскому физика В.Браггу удалось соединить в одной теории все существенные наблюдавшиеся факты. Много в этом отношении помогли и факты, установленные его отцом, лондонским физиком.

Пользуясь изложенным выше, мы можем теперь с большою простотою изложить полученные результаты, по крайней мере для ряда кристаллических веществ, в которых расположение атомов отличается особенною простотою.

В кристаллах, образующих группу каменной соли, мы поймем расположение атомов, приняв за ячейку, из которых составляется все пространство, простой куб (фиг.4).

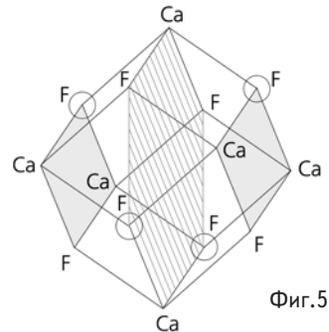


Оказывается, что из вершин куба четыре, составляющие один тетраэдр, заняты атомами Cl, а другие четыре — атомами Na. Это имеет место и для всех кристаллических веществ, связанных с каменной солью особою кристаллическою близостью. Сюда относятся хлористые, бромистые и йодистые щелочные металлы (т.е., кроме Na, еще K, Rb, Cs).

Если мы дадим себе отчет в этом расположении атомов, нам станет ясным, что плоскости наиболее густого расположения их есть плоскости куба, почему в этих кристаллических веществах преобладающее значение получают именно эти плоскости. Не только при выпадении этих солей из растворов зарождающиеся кристаллики получают форму кубиков, но и при раскалывании они очень легко отделяются именно по плоскостям куба же (весьма совершенная спайность).

Для того чтобы понять расположение атомов во флуорите (плавиковом шпате) CaF_2 , нужно представить себе ромбический додекаэдр с его 14-ю вершинами, а именно 6-ю тетрагональными

и 8-ю тригональными (фиг.5). На месте первых располагаются атомы Ca, на месте вторых — атомы F.



Фиг.5

Так как на каждый ромбический додекаэдр приходится 6 тетрагональных вершин, а в каждой такой вершине сходятся 6 додекаэдров, то на объем пространства, равный такому додекаэдру, придется один атом Ca. Тригональных вершин 8, а при каждой такой вершине укладываются вплотную 4 ромбических додекаэдра, а потому на тот же объем атомов F окажется уже 2, откуда вытекает формула CaF_2 , в полном согласии с данными химии.

Для сфалерита (цинковой обманки ZnS) получается довольно близкое расположение атомов; различие собственно в том, что на место атомов Ca становятся атомы Zn, а на место атомов F, но не всех 8-ми, а только тех 4-х, которые на фигуре означены кружками, становятся атомы S. Так как теперь число атомов S, сравнительно с числом атомов F предыдущего случая, вдвое меньше, то ясно, что численное отношение тех и других выразится известною из химии формулою ZnS .

Соединяя атомы примыкающих друг к другу додекаэдров в одну картину, мы увидим, что во флуорите атом Ca находится в центре куба, образованного атомами F; в сфалерите же Zn окажется уже не в центре куба, а в центре тетраэдра, так как из 8-ми вершин куба остаются только 4, образующие вершины тетраэдра.

Такое расположение атомов обладает уже меньшею симметрией (гексакistetраэдрическою), и действительно в кристаллах сфалерита наблюдается эта менее высокая симметрия.

Еще проще понять расположение атомов в алмазе, потому что оно совершенно такое же, как и в сфалерите; но понятно, что в алмазе уже нет различия в родах атомов, а все они принадлежат C.

Симметрия алмаза, по наблюдению кристаллографов, совершенно такая же, как в сфалерите.

Приведенные случаи относятся, конечно, к простейшим из всех до сих пор экспериментально исследованных. Уже случай пирита (серного колчедана) FeS_2 относится к более сложным; но, как сказано, во всех случаях найденные расположения то-

чек оказались в числе тех, которые были предусмотрены в ученых трудах по кристаллографии².

Конечно, для специалистов наибольший интерес представляют именно самые сложные из исследованных случаев. Здесь же достаточно ограничиться приведенными простыми и показать на них, какими простыми средствами достигнуты эти важные результаты, если отвлечься от некоторых усложняющих изложение деталей.

Как было уже упомянуто, возможность таких определений явилась тогда, когда была выяснена природа X-лучей, по существу одинаковая с лучами света, от которого эти лучи отличаются лишь значительно меньшей длиной волны.

Второй важный шаг, сделанный Бراجом (отцом), состоял в том, что был определен более простой состав лучей, если платиновые электроды в антикатоде заменить радиевыми или палладиевыми. Платиновые (или иридиевые) антикатоды излучают лучи различных длин волн, а электроды из двух последних названных металлов преобладающим образом излучают волны определенной длины, а именно палладиевые — главным образом $0.576 \cdot 10^{-7}$ мм.

Поэтому исследование весьма упрощается, если употреблять именно такие электроды.

На плоские сетки в кристаллических веществах можно смотреть как на отражающие плоскости или зеркала, хотя и весьма несовершенные, подобные пачкам стеклянных пластинок; от таких плоскостей отражается только небольшая часть волн, а большая часть углубляется в вещество дальше, продолжая отчасти отражаться от каждой следующей параллельной плоской сетки. В конце концов весь запас световой энергии отразится; но при этом отражении каждая волна разбивается на множество отдельных волн, которые друг с другом интерферируют, т.е., смотря по условиям, или усиливают, или ослабляют друг друга.

Исследованию подвергается напряжение отраженных волн, подвергшихся этой интерференции.

Последовательно изменяя угол падения волн на кристаллическую пластинку, мы вместе с тем получаем места максимума и минимума напряжения отраженных волн, более или менее однородных (например, палладиевых).

Чем больше отклоним направление падающего луча от вертикальности (угол падения 0°), тем больший путь проделывает волна, чтобы из одной

плоской сетки пройти до какой-нибудь следующей и снова возвратиться при отражении до поверхности пластинки.

Если наименьший угол падения луча, при котором происходит отражение наибольшей яркости, есть угол θ_1 , то, пустив луч под другим углом θ_2 , для которого имеем $\sin\theta_2 = 2\sin\theta_1$, получим другое место максимума, хотя и слабейшего; это будет отражение II порядка, при котором путь луча в проходимом веществе вдвое больший. Третьему максимуму θ_3 будет соответствовать равенство $\sin\theta_3 = 3\sin\theta_1$ и т.д. Яркости отраженных волн этих последовательных порядков падают довольно быстро, а именно примерно, если для яркостей отраженных лучей I порядка примем 100, то для II порядка получим 20, для III порядка — 7, для IV порядка — 3 и для V порядка — 1.

Но совсем другое получится, если, кроме отражающих, следующих одна за другою, плоских сеток, состоящих из одних атомов, в промежутке между ними окажутся плоские сетки других атомов.

Если расстояние между двумя первыми сетками означим чрез d , длину волны падающего луча чрез s и угол падения для луча I порядка чрез θ_1 , II порядка θ_2 и т.д., то легко найдем $s = 2d\sin\theta_1$, $2s = 2d\sin\theta_2$, $3s = 2d\sin\theta_3$... Таким образом, зная длину волны s и угол θ , легко найдем и абсолютное расстояние между отражающими плоскостями.

Например, для палладиевых лучей $s = 0.576 \cdot 10^{-7}$ мм, а для каменной соли и отражения I порядка от плоскости куба угол $\theta = 5.9^\circ$, от плоскости, проходящей через противоположные ребра куба (ромбического додекаэдра), $\theta_1 = 8.25^\circ$, а для плоскости, перпендикулярной к диагонали куба (октаэдра), $\theta = 5.1^\circ$. Отсюда вычисляем ближайшие расстояния первых плоскостей — $1.56 \cdot 10^{-7}$ мм, вторых плоскостей — $1.40 \cdot 10^{-7}$ мм, третьих плоскостей — $1.65 \cdot 10^{-7}$ мм.

Приблизительно отношения этих трех расстояний есть $1 : 1/\sqrt{2} : 2/\sqrt{3}$.

Но это же отношение есть математически точное отношение между плоскостями ближайших плоских сеток одинаковых атомов, если принять то их расположение, которое изображено на фиг.4.

Но, рассматривая внимательно эту фигуру, мы заметим ту особенность, что как в первых, так и во вторых плоскостях одинаково представлены как атомы натрия, так и атомы хлора, тогда как в третьих плоскостях (октаэдра) между двумя плоскостями, заключающими атомы только одного рода, например натрия, посередине проходят плоскости, заключающие только атомы хлора.

В чем же эта особенность должна отразиться на наблюдениях?

Из сказанного выше следует, что присутствие этих промежуточных плоскостей должно привести к новым отраженным волнам, которые должны интерферировать с волнами, отраженными от первых плоскостей. Так как промежуточные плоско-

² Например, расположение атомов в пирите предусмотрено в сочинении автора этой статьи: «Симметрия правильных систем фигур», где оно значится в виде системы под №92а, а несколько позже получило наиболее простое графическое изображение в сочинении *Regulare Plan, und Raumtheilung* на табл. V под символом (25) c1, а в перечислении всех возможных структур значится на стр. 542 под обозначением 25 (c1) (13 III). За это сочинение Баварская академия в 1896 г. удостоила русского автора избранием в свои члены, а Петроградская признала (в 1891 г.) то же сочинение не заслуживающим упоминания.

сти находятся точно посередине, то отраженные лучи должны отставать ровно на полдлины волны, а следовательно, должны были бы привести к полной интерференции или взаимному уничтожению волн. На деле, однако, это не осуществляется: получается только ослабление их напряженности.

Но если возьмем кристаллы хлористого калия KCl , то в этом случае, и только в этом, из всех кристаллографически близких солей действительно лучи I периода уничтожаются почти вполне, и сделанный вывод оправдывается только в этом частном случае.

От чего же это зависит?

Ясно, что по общности кристаллографических свойств солей этой группы различного положения атомов для них допустить нельзя; все различие должно сводиться к различию в замещении одних атомов другими, например замещении атомов Na атомами K, Rb, Cs или атомов Cl атомами Br, J.

Следовательно, различие должно сводиться к различию индивидуальных свойств самих атомов, а это прежде всего выражается в их атомных весах. Из всех же этих атомных весов наиболее близкими оказываются именно веса $Cl = 35.5$ и $K = 39$.

Если, следовательно, принять, что энергия отражения (кроме плотности сеток, т.е. числа атомов на один квадрат. миллиметр) пропорциональна весам атомов, то именно для соли KCl , и только для нее, интерференция волн I порядка должна быть наиболее полная; таким образом, результаты наблюдения приводятся в полное соответствие с теорией.

Отсюда видно, как важно наблюдать не только углы лучей максимальных напряженностей, но и сами величины этих напряженностей; такие именно наблюдения и были поставлены Брэггом для довольно большого числа кристаллов и их различных плоскостей.

Для каменной соли для напряженностей волн разного порядка и от разных плоскостей получились следующие величины:

	I пор.	II пор.	III пор.	IV пор.
для граней куба	100	30	7	—
„ „ ромб. додекаэдра	100	24	7	—
„ „ „ октаэдра	20	100	—	6

Числа первых двух строчек по теории должны бы быть более или менее одинаковыми и соответствовать тому порядку, который отмечен выше. Если получилось различие, то оно все-таки не велико и сводится к приближенности сделанных измерений.

Но сильно уменьшенное число для волн, отраженных от плоскости октаэдра, и волн I порядка уже получило свое качественное объяснение. Сам Брэгг идет дальше и дает добавочные формулы, которые объяснили бы этот порядок чисел и количественно.

Но если для волн I порядка от промежуточных плоскостей получается ослабляющая интерференция, то та же причина приводит к тому же результату и для волн III порядка, что и проявляется резко на таблице. Наоборот, та же причина приводит к усиливающей напряженности интерференции в лучах II и IV порядков, что опять-таки ясно усматривается на таблице.

Теперь становится ясным значение таких таблиц для всех исследованных кристаллов. Для примера приведем хотя бы две следующие:

Для флуорита CaF_2 .					
	I пор.	II пор.	III пор.	IV пор.	V пор.
Грани куба	—	100	—	13	—
„ ромбич. додек.	100	16	6	—	—
„ октаэдра	100	—	10	9	3
Для сфалерита ZnS .					
	I пор.	II пор.	III пор.	IV пор.	V пор.
Грани куба	40	100	—	—	—
„ ромбич. додек.	100	25	7	—	—
„ октаэдра	100	5	8	—	—

Не исчерпывая всего, что нам говорят эти таблицы, остановимся хоть на следующем.

Для волн I порядка и граней куба во флуорите мы имеем полную интерференцию, т.е. то же, что для KCl . Здесь также явление вызывается присутствием промежуточных плоскостей, находящихся как раз посередине. Правда, в промежуточных плоскостях, как видно из фиг.5, число атомов фтора вдвое больше, чем в плоскостях, содержащих атомы кальция, но зато и вес атомов первых приближенно вдвое меньше вторых, а именно $F = 19$, а $Ca = 40$. Вот почему интерференция получается полной (опять-таки приближенно). В сфалерите же числа атомов в тех и других плоскостях одинаковы, но не одинаковы веса атомов, а именно $Zn = 65$, $S = 32$.

Это отражается и на волнах III порядка.

Если бы мы вошли в дальнейшие подробности анализа расположения атомов в соответствующих плоскостях, мы нашли бы объяснения и для других чисел напряженности для волн разных порядков, но мы остановимся на этом, чтобы не слишком удлинять статьи.

Воплощение мечтаний Евграфа Федорова

Ю.И.Блох,
доктор физико-математических наук
Москва

Каждый теоретик, занимающийся изучением природных законов, мечтает увидеть собственными глазами экспериментальные подтверждения своих теоретических построений, но, к сожалению, чем глубже предмет исследований, тем меньше шансов у ученого дожидаться этого при жизни. Опубликованная в 1915 г. в журнале «Природа» статья гениального русского ученого Евграфа Степановича Федорова засвидетельствовала эту редкую удачу, триумфально выпавшую на его долю и вознаградившую за жизненные невзгоды и страдания. Недаром в 1914 г. он писал: «Не могу воздержаться от заявления, что я никак не думал дожить до действительного определения расположения атомов в кристаллах, предусмотренного в прежних моих сочинениях» [1].

Кристаллы — эти сверкающие воплощения природной гармонии — испокон веков привлекали к себе пристальное внимание людей. Величайшие умы человечества пытались проникнуть в тайны возникновения кристаллов, но и на фоне их достижений вклад Федорова нельзя назвать иначе как грандиозным. Самыми важными здесь, несомненно, являются его работы конца 1880-х годов по исследованию структуры и симметрии кристаллов. Они привели в итоге к установлению 230 пространственных групп симметрии, которые сейчас именуются федоровскими и служат по сути фундаментом современной фи-

зики твердого тела*. Федоров доказал, что атомы внутри кристаллов могут располагаться только в соответствии с одним из 230 возможных геометрических законов. К настоящему моменту среди кристаллов (природных и синтетических) найдены примеры структур абсолютно для всех федоровских групп — атомы используют все возможности, допускаемые геометрией. Кстати, группы Федорова — это группы в строгом математическом смысле этого слова, а математический уровень его работ таков, что он по праву считается выдающимся геометром. Один из крупнейших геометров XX в. Борис Николаевич Делоне, выступая в 1953 г. на юбилейной сессии АН СССР, посвященной столетию со дня рождения Евграфа Степановича, заявил: «В нашей стране мы имели двух геометров мирового значения — Лобачевского и Федорова».

Евграф Степанович Федоров родился 10 (22) декабря 1853 г. в Оренбурге, но вскоре семья переехала в Санкт-Петербург. Его отец, генерал-майор инженерных войск, скончался в 1866 г., и юный Евграф с двумя малолетними братьями и сестрой остался на попечении матери Юлии Герасимовны, урожденной Ботвинко, имевшей

* Подробно о значении работ Е.С.Федорова уже рассказывалось в нашем журнале. См. подборку статей «Федоровские группы — универсальный закон природы»: Галиулин Р.В. Правильные системы; Дубов П.Л., Франк-Каменецкий В.А., Шафрановский И.И. Интуиция и расчет (Природа. 1991. №12. С.20—42).



Евграф Степанович в 1880-е годы.

в своем распоряжении весьма скудные средства.

В 1869 г. Федоров, не дожидаясь окончания курса и получив аттестата зрелости, бросил военную гимназию, куда мать пристроила его на казенный счет, и блестяще сдал конкурсный экзамен в Петербургское военное инженерное училище. Там его увлекла математика, и уже в 16-летнем возрасте он начал исследования, результаты которых вошли затем в капитальную монографию «Начала учения о фигурах». В 1872 г. Федоров окончил училище, получил чин подпоручика и уехал служить на Украину, в Белую Церковь, но уже через год вернулся в Петербург, а вскоре и вовсе уволился с военной службы. Некоторое время он учился

в Военной медико-хирургической академии, потом в Технологическом институте, где стал членом партии народников, потом по заданию партии объездил Францию, Бельгию и Германию, зарабатывая при этом средства для жизни тяжелым физическим трудом.

Вернувшись в 1877 г. в Петербург, Евграф Степанович счастливо женился на выпускнице Смольного института Людмиле Васильевне Панютиной, которая оказалась его жизненной опорой и оставила замечательные воспоминания об их совместной жизни [2].

Увлечение исследованиями многогранников закономерно привлекло внимание Федорова к природным многогранникам — кристаллам, и в 1880 г. в возрасте 27 лет он решил для изучения кристаллографии поступить на третий курс Санкт-Петербургского горного института. Институт был блестяще окончен в 1883 г., но известный минералог и кристаллограф П.В.Еремеев не пожелал оставить его при своей кафедре. Несколько лет Евграфу Степановичу, отцу троих малолетних детей, пришлось зарабатывать средства для семьи, трудясь геологом на Северном Урале, а потом препаратором в Геологическом комитете в Петербурге.

Тем не менее научных исследований он не прекратил. В 1891 г. вышла в свет монография «Начала учения о фигурах», а в 1893 г. — другой его классический труд, «Теодолитный метод в минералогии и петрографии». Имя Федорова стало известным в европейском научном мире, и в 1893 г. его выдвинули в члены Петербургской Академии наук, но не избрали, что не было удивительным для тогдашних академических нравов. Вспомним хотя бы, что в 1880 г. точно так же была забаллотирована кандидатура другого отечественного гения — Д.И.Менделеева.

В 1894 г. семья Федоровых уехала на Урал, в Богословский горный округ, а еще через год пе-



В кругу семьи. Около 1910 г.

ребралась в Москву, куда Евграфа Степановича пригласили на должность профессора геологии в Сельскохозяйственный институт в Петровско-Разумовском. Десять лет, проведенных там, он считал счастливейшим временем своей жизни. Интересно отметить, что с 1896 по 1900 г. профессор Федоров дважды в неделю ездил читать лекции в Санкт-Петербург, в отвергший его ранее Горный институт, при этом, как гласит легенда, поезд специально для него останавливали в Петровско-Разумовском.

Осенью 1905 г. Учёный совет Петербургского горного института пригласил Федорова занять директорскую должность, и после раздумий Федоровы вернулись в Санкт-Петербург. Евграф Степанович оказался замечательным организатором и много сделал для развития института, но... в начале 1910 г. был уволен с поста директора, причем самым некрасивым образом. Прежде этого он несколько раз, желая сосредоточиться на научной работе, подавал в Министерство торговли и промышленности, которому подчинялся институт, просьбы об отставке, но они не принимались. Не принят был тогдашним министром С.И.Тимашевым и последний из поданных рапортов об отставке.

Тем не менее при этом, как пишет Л.В.Федорова, «он [Тимашев] так разгорячился, что уволил Евграфа без прошения... Он [Федоров] даже приготовился к увольнению без пенсии. Во мне все кипело от такой несправедливости...». Министр организовал ревизию хозяйственной деятельности Федорова, которая, однако, констатировала, что институт под его руководством смог выбраться из того сложного финансового положения, в котором находился до того, как Евграфа Степановича избрали директором. Ученый совет, сглаживая решение министра, направил Федорову благодарственное письмо. В итоге он из института не ушел и до конца жизни продолжал там заведовать кафедрой и заниматься научными исследованиями.

В 1919 г. Федорова наконец избрали в Академию наук, но тем временем голодная послереволюционная жизнь дала о себе знать: Евграф Степанович заболел пневмонией, и 21 мая 1919 г. его не стало. В 1920 г. уже после смерти Федорова, из печати вышел завершённый еще в 1911 г. и переведенный на немецкий язык последний его капитальный труд «Das Krystalreich» («Царство кристаллов»), написанный при участии уче-



На прогулке.

ников: Д.Н.Артемяева, англичанина Т.В.Баркера, Б.П.Орёлкина и В.И.Соколова. Удалось это, несомненно, благодаря одному из фактических соавторов монографии — Дмитрию Николаевичу Артемьеву, возглавлявшему тогда научный отдел Наркомпроса.

Вернемся, однако, к статье 1915 г., написанной в период революционных преобразований в кристаллографии. В 1912 г. немецкий физик Макс Теодор Феликс фон Лауэ (1879—1960) сформулировал идею эксперимента, с помощью которого можно было проверить гипотезу, что открытые Вильгельмом Рентгеном лучи — это одна из форм электромагнитного излучения с очень короткой длиной волны. Если эта идея справедли-

ва, считал фон Лауэ, то кристалл, облученный рентгеновскими лучами, должен действовать на них как дифракционная решетка, создавая на фотопластинке характерную картину из темных и светлых областей. В апреле 1912 г. Вальтеру Фридриху и Паулю Книппингу удалось получить такую картину, направив узкий пучок рентгеновского излучения на кристалл медного купороса. Выведенное вскоре фундаментальное уравнение позволило установить соотношения между получаемыми таким образом фотоизображениями, которые стали называть лауэграммами, и реальным расположением атомов в кристаллах. Так был открыт метод рентгеновской спектроскопии кристаллических веществ. В 1914 г. за открытие дифракции рентгеновских лучей на кристаллах Макс фон Лауэ получил Нобелевскую премию. Альберт Эйнштейн назвал это открытие «одним из наиболее красивых в физике». В 1913 г. на основе достижений фон Лауэ был разработан метод рентгеноструктурного анализа. Ведущие роли в этом сыграли англичане Уильям Генри Брэгг (1862—1942), его сын Уильям Лоренс Брэгг (1890—1971) и русский ученый Георгий (Юрий) Викторович Вульф (1863—1925).

Несмотря на то что новый метод в какой-то степени отодвинул разработанный Федоровым и его учениками кристаллохимический анализ на второй план, наступившая эпоха воспринималась им как экспериментальное подтверждение его собственных теоретических идей. Поэтому, видимо, он решил разъяснить в научно-популярном журнале, как геометрические идеи проверяются с помощью нового метода. Рассмотр-

енные им простые примеры четко демонстрировали тогдашнему читателю огромные потенциальные возможности рентгеноструктурного анализа, делающего свои «первые шаги в деле распознавания расположения атомов в кристаллах». При этом в одном из примечаний Федоров с горечью констатировал, что его идеи позволили давно уже установить расположение атомов в минерале, известном как пирит или серный колчедан. «За это сочинение Баварская академия в 1896 г. удостоила русского автора избранием в свои члены, — написал он в статье, — а Петроградская признала (в 1891 г.) то же сочинение не заслуживающим упоминания».

Потомки, тем не менее, по достоинству оценили исключительные достижения Федорова, а его математические работы стали отправной точкой для следующего поколения отечественных геометров, таких как Георгий Феодосьевич Вороной (1868—1908), Борис Николаевич Делоне (1890—1980) и Александр Данилович Александров (1912—1999) [3]. Их результаты ныне широко используются в разнообразных информационных технологиях: ни системы автоматического проектирования, ни компьютерные игры, ни 3D-кинематография не могут обходиться без «диаграмм Вороного» и «триангуляции Делоне», истоки которых восходят к классическим федоровским «Началам учения о фигурах». Что касается рентгеноструктурного анализа, «первые шаги» которого Федоров комментировал в журнале «Природа», то за минувшее время он прошел гигантское расстояние и стал одним из мощнейших методов исследования вещества. ■

Литература

1. *Шафрановский И.И.* Евграф Степанович Федоров. Жизнь и творчество // Федоров Е.С. Симметрия и структура кристаллов. Основные работы. М., 1949.
2. *Федорова Л.В.* Наши будни, радости и горести: Воспоминания // Научное наследство. Т.20. М., 1992.
3. *Делоне Б.Н.* Е.С.Федоров как геометр // Труды Института истории естествознания и техники АН СССР. 1956. Т.10. С.5—12.

Новости науки

Астрономия

Сколько звезд во Вселенной?

Во Вселенной оказалось втрое больше звезд, чем считалось прежде. Еще недавно красные карлики — небольшие тусклые звезды — невозможно было наблюдать за пределами нашей Галактики и ее ближайших соседей. Предполагалось, что доля красных карликов в других галактиках примерно такая же, что и в нашей.

Однако теперь группа американских астрономов под руководством П. ван Доккума (P. van Dokkum; Йельский университет, США) применила мощные инструменты обсерватории «Кек» (Гавайские острова), чтобы обнаружить слабое излучение красных карликов в восьми массивных, сравнительно близких эллиптических галактиках, находящихся от нас на расстояниях от 50 до 300 млн св. лет. И выяснилось, что эти красные карлики, массы которых составляют от 10 до 20% M_{\odot} , гораздо многочисленнее, чем ожидалось: их доля в эллиптических галактиках в 20 раз больше, чем в нашей звездной системе.

Полученные данные могут существенно повлиять на представления о формировании и эволюции галактик. В частности, возможно, что другие галактики содержат намного меньше темного вещества, чем ожидалось на основании прежних оценок их масс, — ведь значительную долю массы галактик могут составлять красные карлики. Поскольку вероятно, что у этих звезд есть планетные системы, оценка числа планет во Вселенной тоже потребует существенного пересмотра в сторону увеличения.

Nature. 2010. DOI: 10.1038/nature09578

Астрономия

Точное измерение массы цефеиды

Группа астрономов под руководством Г.Петржинского (G.Pietrzynski; Астрономическая обсерватория Варшавского университета, Польша), используя спектрометр HARPS, установленный на телескопе с 3.6-метровым зеркалом Европейской южной обсерватории в Чили, смогла измерить массу цефеиды с недостижимой ранее точностью. Этот результат позволил выяснить, какая из двух альтернативных теорий, предсказывающих массы цефеид, более точна.

Цефеиды — это пульсирующие звезды с переменной светимостью, регулярно сжимающиеся и расширяющиеся с периодичностью от нескольких дней до нескольких месяцев и немного меняющие синхронно с пульсациями свою светимость. Период пульсаций длиннее у звезд с большой средней светимостью и короче у менее ярких звезд. Эта замечательная связь между периодом изменения светимости и его средним значением у цефеид позволяет наиболее надежно измерять расстояния до ближайших галактик, а тем самым — определить всю шкалу расстояний во Вселенной. Обнаружив в соседней галактике пульсирующую звезду и вычислив период пульсаций, астрономы по уже известной зависимости устанавливают среднюю светимость этой звезды и, сравнив ее с видимым блеском светила, определяют расстояние до галактики.

К сожалению, несмотря на всю важность цефеид для измерения астрономических расстояний, физика этого класса звезд остается не вполне понятной. Их массы, вы-

численные на основе теории звездных пульсаций, оказываются на 20% меньше тех, что выведены из теории звездной эволюции. Столь необъяснимое расхождение известно уже полвека.

Чтобы разрешить это противоречие, астрономам нужно было найти двойную звезду, у которой один из компонентов — цефеида, а плоскость орбиты видна с Земли «с ребра», так что компоненты регулярно затмевают друг друга. При таком расположении орбиты яркость двойной системы во время затмений падает, и можно по периодичности затмений с высокой точностью определить массы компонентов. Однако и цефеиды, и затменные двойные системы достаточно редки, а их сочетание встречается еще реже. В нашей Галактике не известно ни одной такой двойной системы.

Недавно группе Петржинского удалось обнаружить затменную двойную систему с цефеидой в Большом Магеллановом Облаке. Период пульсаций цефеиды составляет 3.8 сут. Вторая звезда системы несколько больше и холоднее, а орбитальный период звезд составляет 310 сут. То, что это действительно двойная система, стало ясно сразу после ее наблюдения с помощью спектрометра HARPS.

Астрономы тщательно измерили кривую изменения блеска этого редкого объекта во время затмений. А спектрометр использовали для измерения скоростей движения обеих звезд по отношению к Земле, а также скорости движения поверхности цефеиды во время ее расширения и сжатия.

Эти весьма полные и подробные данные позволили наблюдателям рассчитать орбитальные движения, размеры и массы обеих звезд с очень высокой точностью,

намного превосходящей достигнутой прежде для цефеид. Масса этой цефеиды теперь известна с погрешностью менее 1%, и она оказалась в точности такой, какая была предсказана теорией звездной эволюции, оказалась за пределами погрешности измерений, так что придется теорию уточнять. Используя данные о новой цефеиде, исследователи надеются определить расстояние до Большого Магелланова Облака с погрешностью менее 1%, что крайне важно для уточнения шкалы астрономических расстояний.

Nature. 2010. №486. P.545–548 (Великобритания); DOI: 10.1038/nature09567

Биология. Медицина

Трехмерные культуры клеток

Традиционные методы выращивания клеток человека и животных в виде монослоев на гладких плоских поверхностях лабораторной посуды ставят эти клетки в условия, далекие от физиологических, что влияет на их морфологию и дифференцировку. Это затрудняет интерпретацию результатов медико-биологических исследований, полученных на культурах клеток, так как многие эффекты новых лекарственных препаратов, выявленные в таких исследованиях, не воспроизводятся в моделях *in vivo* и при клинических испытаниях. В частности, это относится к взаимодействиям между клеточными культурами и бактериальными и вирусными патогенами.

Группа американских исследователей под руководством Ч.Никерсона (Ch.Nickerson, Университет штата Аризона) применила технологию культивирования, используемую специалистами НАСА для выращивания клеток в условиях невесомости. Для более реалистичного моделирования нормальной физиологии клеток и тканей в экспериментах с клеточными культурами по этой технологии применяется вращающийся цилиндр, заполненный культуральной жидкостью

вместе с пористыми бусинами или иным подходящим субстратом. Оседание клеток и бусин под действием силы тяжести уравновешено вращением цилиндра, благодаря чему клетки медленно перемещаются в культуральной среде и прикрепляются к субстрату, образуя трехмерные агрегаты. В таком виде клетки подвергаются действию химических и осмотических градиентов концентраций, подобно клеткам *in vivo*. Обтекание клеток и клеточных агрегатов культуральной жидкостью в реакторе имитирует медленные сдвиговые течения физиологических жидкостей, механически воздействующих на живые ткани в естественных условиях. Это способствует агрегации клеток в трехмерные структуры, аналогичные живым тканям.

Микроокружение клеточных культур в таком биореакторе воспроизводит сдвиговые напряжения, испытываемые клетками в живом организме. Известно, что эти механические напряжения существенно влияют на морфологию и дифференцировку клеток, а тем самым — на их физиологические функции. Исследования группы Никерсона показывают, что медленные сдвиговые течения жидкости вокруг клеток влияют на развитие инфекционного процесса у некоторых бактериальных и вирусных патогенов человека. В частности, возбудители инфекционных заболеваний в наиболее подверженных заражению участках пищеварительного, дыхательного и уrogenитального трактов переносятся этими течениями, что определяет динамику распространения инфекции внутри организма.

За последние 10 лет группа Никерсона и их коллеги опубликовали результаты исследования трехмерных культур тканей тонкого и толстого кишечника, легких, плаценты, нервной ткани и вагинального эпителия. (Обычно такие клетки не удается выращивать в виде монослоев.) Эти результаты позволяют по-новому взглянуть на пролиферацию и дифференцировку клеток, их иммунную функцию, изучить гомеостаз нормальных тканей и его изменения в процессе разви-

тия заболевания. Кроме того, они выявили новые способы, которыми патогены вызывают болезнь, и расширили спектр патогенов, которые можно изучать *in vitro*.

Использование подобных моделей на ранних стадиях разработки лекарств может уменьшить число бесперспективных препаратов, одобренных к клиническим испытаниям, что снизит стоимость и сократит сроки внедрения новых лекарств в медицинскую практику.

October 21, 2010
<http://www.sciencedaily.com/releases/2010/10/101019111716>

Генетика

Выращивание тканей кишечника из клеток кожи

Как известно, плюрипотентностью, т.е. способностью превращаться (дифференцироваться) в различные типы клеток, обладают эмбриональные стволовые клетки (ЭСК). Однако около пяти лет назад была разработана технология генетического репрограммирования клеток, позволяющая возвращать клетки взрослого организма в эмбриональное состояние — получать клетки с индуцированной плюрипотентностью, или iPS-клетки¹.

Группа исследователей под руководством Дж. Уэллса (J. Wells, Медицинский центр при детской больнице г. Цинцинати, штат Огайо, США), используя эту технологию, впервые получили из клеток кожи человека iPS-клетки, способные *in vitro* формировать ткани, схожие по трехмерной архитектуре и клеточному составу с тканями кишечника.

Чтобы заставить iPS-клетки дифференцироваться в ткани кишечника, исследователи обработали их физиологически активными веществами и сигнальными белками, известными как факторы роста, в специально подобранной последовательности — так на культурах клеток имитировались

¹ Подробнее см.: Киселев СЛ, Шутова МВ. Репрограммирование клеток: прыжок вверх по лестнице, ведущей вниз // Природа. 2010. №5. С.3–10.

условия эмбрионального развития тканей кишечника.

На первом этапе из iPS-клеток получали так называемые клетки definitiveной энтодермы, из которых в процессе эмбрионального развития формируется выстилка пищевода, желудка и кишечника, а также легких, поджелудочной железы и печени. Затем эти эндодермальные клетки стимулировали к дальнейшей дифференцировке в клетки эмбрионального кишечника, после чего их поместили в систему культивирования клеток, которую исследователи назвали «прокишечной».

Через 28 сут образовалась трехмерная ткань, напоминающая кишечник человеческого эмбриона и содержащая все характерные для нее типы клеток, в том числе энтероциты, бокаловидные клетки, клетки Панета и энтероэндокринные клетки. Ткань продолжала дифференцироваться и приобретать адсорбирующие и секреторные функции нормальных тканей кишечника человека, а также образовала специфические для кишечника стволовые клетки.

Контролем во всех этих экспериментах служили ЭСК, по сравнению с которыми iPS-клетки обладают очевидными преимуществами — имеют тот же генотип, что и прочие ткани больного, и поэтому при трансплантации не будут отторгаться организмом.

Такая методика позволит изучать развитие кишечника человека в норме и патологии, а также понять причины возникновения врожденных аномалий этого органа. На лабораторных животных исследуется возможность использования выращенных *in vitro* тканей для трансплантации, а в дальнейшем — лечения этим способом болезней человека.

Nature, 2010; DOI: 10.1038/nature09691

Экология

Расселение стрекоз: масштабы и последствия

Общеизвестно, что стрекозы — хорошие летуны и способны совершать миграции. Однако считается,

что к перелетам склонны лишь те виды, чьи миграционные пути более или менее постоянны, а адаптивность миграций связана с периодическими изменениями условий в местах обитания или с динамикой численности популяций. Многолетнее изучение стрекоз позволило А.Ю.Харитонову и О.Н.Поповой (Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск) заключить, что миграционная активность этих насекомых более универсальна и масштаба, чем принято считать.

Массовое мечение стрекоз в местах выплода показало, что только небольшая их часть не покидает родного водоема, большинство же разлетаются и их поведение сходно с кочевым поведением некоторых видов птиц в послегнездовой период. Миграции плохо заметны, так как стрекозы редко образуют скопления в виде стай. Лишь специальные наблюдения и косвенные свидетельства (периодическое попадание множества особей в орнитологические сети, появление их в аридных областях или на северных островах) подтверждают направленность и массовость миграций.

Масштабы пространственного перераспределения стрекоз очень велики. Одно из его следствий — быстрое заселение ими искусственных водоемов, в том числе далеко не оптимальных по своим условиям. Среди попавших туда видов нередко преобладают нехарактерные для данной местности. Еще одно следствие — появление локальных популяций, удаленных на многие сотни (а иногда и тысячи!) километров от основного ареала. Подтверждение тому — целый ряд неожиданных фаунистических находок, например встречи авторов с восточноазиатским видом *Sympetrum eroticum* в Прибалтике или средиземноморским *Selysiothemis nigra* — на Урале. Повидимому, большинство таких популяций недолговечны. Но иногда из подобных локальных очагов начинается активное расселение и освоение новой территории, которое может существенно изменить картину «кружева ареала»

или расширить его общие границы. Такие изолированные участки ареалов зачастую ошибочно объявляются реликтовыми и на этом основании строятся историко-фаунистические гипотезы, связанные с колебаниями климата, ледниковыми подвигами и «миграционными коридорами».

По мнению авторов, главной причиной перемещения стрекоз служит связь большинства видов с недолговечными мелководными водоемами. Относительно быстрое изменение стаций, подходящих для развития личинок, компенсируется освоением новых водоемов.

Материалы VIII Межрегионального совещания энтомологов Сибири и Дальнего Востока с участием зарубежных ученых. Новосибирск, 4—7 октября 2010. С.207—208 (Россия).

Зоология

Холодоустойчивость и ареал тропического дождевого червя

Дождевой червь дравида Гилярова (*Drawida ghilarovi*) — единственный вид тропического семейства Moniligastridae, проникающий на юг российского Дальнего Востока. Экология этого крупного (длиной до 14 см) иссиня-черного червя и даже его распространение на северной периферии ареала до недавнего времени были изучены недостаточно. Сотрудники Института биологических проблем Севера ДВО РАН не только определили границы ареала дравида Гилярова в Приамурье и выяснили особенности ее экологии, но и выявили уникальные физиологические возможности вида, установив термические условия в его местообитаниях.

Оказалось, что *D.ghilarovi* многочисленна в разнообразных биотопах — от лесов различных типов до заболоченных участков, где благополучно переносит подтопление и весьма низкие температуры воды. Так как зимуют эти дождевые черви не в глубине грунтов, а у поверхности (до 25 см), относить их следует к экологической группе ненорных червей, а почвенно-подстилочных. Там же они откладывают

ют летом яйцевые коконы, выплод из которых происходит, вероятно, осенью. Предполагалось, что причина ограниченного распространения дравиды Гилярова в Приамурье кроется в ее недостаточной холодоустойчивости. Как ни парадоксально, но этот обитатель тропиков оказался четвертым устойчивым к низким температурам видом дождевых червей фауны России! В серии лабораторных экспериментов установлен абсолютный порог переносимых дравидой температур: для коконов он составил минус 20°C, для червей — минус 16°C (при порогах 50%-й смертности — около минус 15°C и минус 12°C соответственно).

Механизм защиты от замерзания у дравиды Гилярова такой же, как у изученных видов дождевых червей семейства люмбрицид (Lumbricidae) — дегидратация, в результате которой коконы дравиды Гилярова теряют до 45% воды, черви — около 10%. Если, как предполагают исследователи, коконы действительно успевают развиться до осени, то *D.gibilarovi* — единственный вид дождевых червей в фауне России, зимующий только в фазе червя, т.е. носитель особого жизненного цикла.

Климатические условия на дальневосточном участке ареала дравиды таковы, что эколого-физиологические возможности вида переносить низкие температуры находятся если не на пределе, то вблизи него. Резерв холодоустойчивости для открытых территорий составляет только 2–3°C, для лесов — несколько больше. Исследователи считают, что границы современного ареала могут отражать бывшие климатические изменения в почвах и грунтах. В существующих условиях дравиды Гилярова могла бы жить в наиболее теплых местообитаниях, до бассейна Зеи включительно, а на севере — вплоть до верховьев левых притоков среднего и нижнего течения Амура. Широкое распространение и высокая численность *D.gibilarovi* на юге Хабаровского края и в Приморье позволяют считать, что она необоснованно внесена в Красную книгу

Хабаровского края как сокращающийся в численности вид.

Зоологический журнал. 2010. Т.89. №9. С.1027–1036 (Россия).

Морская биология

Размножение ларги в заливе Петра Великого

Пятнистый тюлень, или ларга (*Phoca largha*), распространен в северной Пацифике — от Чукотского моря на севере до Желтого на юге. Экологическая особенность, отличающая ларгу от близкородственного обыкновенного тюленя (*P.vitulina*), — рождение и выкармливание детенышей исключительно на дрейфующих льдах, которые в том или ином виде значительную часть года находятся на всем протяжении ареала пятнистого тюленя. Если на севере период размножения совпадает со временем существования пригодного для этого льда, то на юге подходящие ледовые условия имеются далеко не везде и не всегда.

О популяции пятнистого тюленя в заливе Петра Великого (юго-западная часть Японского моря) известно с конца XIX в. Между тем срок существования в этой части ареала льдов, пригодных для размножения *P.largha*, слишком короток. За более чем вековую историю наблюдений и даже в ходе специальных авиаучетов животных собственноручно признаков размножения в этой популяции обнаружить не удавалось. Неожиданностью стали находки репродуктивных участков ларги на островах архипелага Римского-Корсакова. Выяснилось, что роды и выкармливание детенышей происходят исключительно на 23 компактно расположенных островных лежбищах. По данным сотрудников Дальневосточного морского заповедника, здесь в настоящее время обитает около 2300 пятнистых тюленей и в год появляется на свет 300–450 детенышей.

Размножение *P.largha* на берегу имеет ряд очевидных преимуществ, главное из них — независимость от ледовых условий конкретного года. На этих мелких островах нет крупных хищников,

а заповедный режим препятствует браконьерству. Кроме того, развитие детенышей происходит в плотных семейных группах при высоком уровне социальных отношений, что также можно отнести к преимуществам наземного расположения репродуктивных лежбищ.

Исследователи считают, что островное размножение ларги в заливе Петра Великого позволяет стабильно существовать популяции даже с малым уровнем численности.

Океанология. 2010. Т.50. №1. С.82–88 (Россия).

Геология

Железомарганцевые образования на дне Байкала

Современные представления о накоплении железа и марганца в донных осадках оз.Байкал и закономерностях формирования железомарганцевых конкреций в озере обобщили Л.З.Гранина, В.Д.Мац (Лимнологический институт СО РАН, Иркутск) и М.А.Федорин (Институт нефтегазовой геологии и геофизики им.А.А.Трофимука СО РАН, Новосибирский государственный университет). Особое внимание они уделили вопросу о возможности участия в этом процессе гидротерм, а также происхождению древних конкреций, ныне глубоко захороненных в осадках озера.

Байкал по многим характеристикам благодаря его огромным размерам, уникальной глубине и тектонической активности рассматривается учеными в качестве модели ранней стадии формирования океана. Специфически океанической предстает в осадках озера стадия окислительного диагенеза. Воды Байкала обогащены кислородом, который проникает в донные отложения, и поверхностные осадки дна окислены на большей его площади. В окисленных отложениях интенсивно накапливаются оксиды железа и марганца, что ведет к образованию вторичных форм их концентрации в виде Fe- и

Mn-прослоев, Fe-Mn-корок и конкреций. Исследования последнего десятилетия показали, что формирование железомарганцевых образований (ЖМО) происходит в ходе гидротермальных процессов, а конкреции, захороненные в донных осадках, могут быть унаследованы от древних ЖМО, сформировавшихся и длительное время существовавших в условиях, отличных от современных. Некоторые разновидности конкреций в донных отложениях могут быть связаны с распространенными на берегах озера континентальными и морскими проявлениями железомарганцевых руд и фосфоритов. Понять взаимосвязь процессов, протекавших на суше и в озере, помогают новые подходы к проблеме генезиса байкальских ЖМО.

Соединения железа и марганца поступают в озеро преимущественно (более 95%) в составе речных взвесей. Постоянное обогащение водных масс кислородом обеспечивает практически полный переход рудных элементов в осадки: ежегодно в Байкале остается около 160 тыс. т Fe и около 5 тыс. т Mn. Попадая в донные осадки, они перераспределяются от периферии к центральной части озера, где накапливаются в тонкозернистых отложениях, причем не только за счет механического переноса, но также благодаря интенсивным процессам диагенетической миграции. Мощность окисленного слоя осадков и уровень их обогащения оксидами Fe- и Mn обусловлены глубиной проникновения кислорода в отложения, что, в свою очередь, связано со скоростью накопления осадков, которая варьирует от 2 до 100 см за тысячу лет. В окисленных осадках представлены все стадии процесса накопления и дифференциации Fe и Mn, вплоть до образования конкреций. Это биогенный процесс, осуществляемый при участии разного рода микроорганизмов.

В Байкале выделено два типа диагенеза Fe и Mn. Первый тип характерен для областей с высокой скоростью седиментации (например, вблизи дельты Селенги, в районах южного и среднего Байкала);

здесь железо и марганец в значительной мере накапливаются на поверхности осадков (рассчитанное время аккумуляции гидроксидов Mn составляет от 10 до 170 лет). При втором типе диагенеза, который характерен для районов с низкими темпами седиментации и глубоким проникновением кислорода в осадки (северный Байкал и подводный Академический хребет), основная масса металлов накапливается внутри осадка, образуя массивные прослои, существенно обогащенные гидроксидами Fe и Mn. Здесь формирование значительной массы оксидов Mn продолжается тысячи лет. Таким образом, Fe и Mn, поступающие в районы с высокими скоростями осадконакопления, быстро захороняются, тогда как при низких темпах седиментации имеет место длительный процесс растворения соединений железа и марганца, сопровождающийся их переотложением, что приводит к автохтонной аккумуляции почти чистых гидроксидов.

По заключению авторов, в центральной части Байкала (районы о.Ольхон, Академического хребта, Ушканьего архипелага) захороненные в толще осадков железомарганцевые корки и конкреции, в том числе фосфатсодержащие, могут быть непосредственно связаны с рудопроявлениями Fe, Mn и P на берегах озера, а захоронение древних конкреционных образований в толще осадков, возможно, вызвано тектоническими движениями, начавшимися 120–150 тыс. лет назад.

Геология и геофизика. 2010. Т.51. №6. С.835–848 (Россия).

Климатология

Рост атмосферного CO₂ в середине эоцена

Срединно-эоценовый климатический оптимум (СЭКО) был открыт в 2003 г. Он представлял собой глобальное потепление, которое произошло 40 млн лет назад, продолжалось около 400 тыс. лет и сопровождалось потеплением вод в океанских глубинах примерно на 4°C. Предполагается, что это

событие могло быть вызвано ростом содержания CO₂ в атмосфере.

Для проверки этой гипотезы группа нидерландских и британских исследователей под руководством П.Биджла (Peter K.Bijl; Утрехтский университет, Нидерланды) изучала стратиграфическую последовательность донных отложений по кернам, которые в соответствии с Программой бурения океанского дна были взяты из скважины 1172, расположенной на Тасманийском плато у побережья Австралии. Оценки pCO₂ и температуры поверхности моря достигались косвенными методами: первые — по соотношению изотопов углерода в алкетонах (высокомолекулярных соединениях, синтезируемых определенным видом водорослей), вторые — по степени ненасыщенности алкетонов, соотношению изотопов кислорода в карбонатах и видовому составу динофлагеллят (одноклеточных простейших, способных к фотосинтезу).

Обнаружены синхронность изменения поверхности температуры моря и pCO₂ на протяжении СЭКО, общее сходство профилей обеих величин и приблизительная пропорциональность их прироста. При этом температура поверхности повысилась на 4–5°C, а pCO₂ возросло на 2–3 тыс. ppmv. Однако вывести из этих показателей чувствительность климата к росту содержания углекислого газа не представляется возможным, так как и температура, и концентрация парникового газа определены со значительными погрешностями. Для надежных выводов необходима информация, полученная более чем из одной скважины. Неясен также источник столь значительного увеличения углекислого газа в атмосфере. Наиболее вероятной причиной могут быть, по мнению авторов, горообразовательные процессы, связанные с воздыманием Гималаев, однако конкретные механизмы высвобождения углекислого газа в атмосферу при горообразовании еще предстоит установить.

Science. 2010. V.330 №6005. P.819–821 (США).

Все, чего мы не знали об эволюции

А.А.Казанцева
Москва

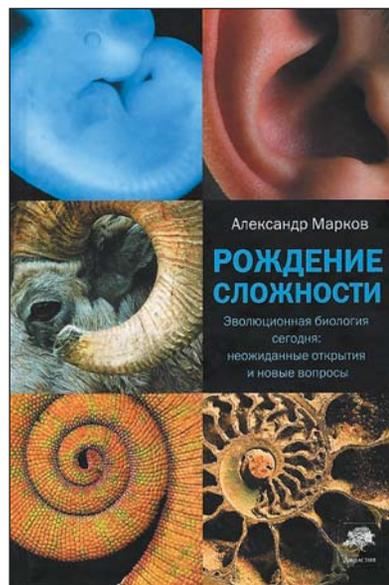
Прежде всего следует поблагодарить креационистов. Именно встреча с воинствующим невежеством вынудила доктора биологических наук Александра Владимировича Маркова, как и многих других популяризаторов науки, подбирать слова, с помощью которых можно было бы рассказать об эволюции людям, чьи знания ограничены уровнем начала XIX в. «Я наивно полагал, что в наши дни, когда мы так много знаем об устройстве и историческом развитии органического мира, быть креационистом может только идиот. Я испытал шок, когда осознал, что быть идиотом для этого обязательно — достаточно просто не знать биологии», — пишет Марков в предисловии к «Рождению сложности».

Из споров на форумах вырос интернет-портал «Проблемы эволюции»*, за ним последовало создание научно-популярных программ и статей в разных СМИ и работа над сайтом «Элементы большой науки»**. Опубликованные обзоры эволюционных исследований легли в основу книги «Рождение сложности». Это определило ее структуру: каждая глава содержит около 10 вставок, рассказывающих о конкретных недавно вышедших статьях, в которых иллюстрируются общие принципы, описанные в основном тексте.

В ходе эволюции усложнение разных систем происходит параллельно. Структура книги об эволюции повторяет этот принцип: в ней параллельно

происходит как усложнение живых систем, о которых идет речь, так и усложнение понятийного аппарата и уровня повествования. В ранних главах больше внимания уделяется самим живым существам и тому, как они возникли и развивались, а ближе к концу книги живые существа становятся иллюстрацией к рассказу о том, как возникла и развивается эволюционная биология.

Такая композиция приводит к неравенству между примитивными и сложными формами жизни. Отдельные главы посвящены зарождению жизни, ранним бактериальным сообществам и формированию эукариотической клетки. Дальнейшие эволюционные события, такие как возникновение многоклеточности и становление отдельных таксонов, описаны кратко и выступают в роли примеров для рассказа об общих принципах эволюции. Эта кажущаяся несправедливость вполне оправданна. Большинство популяризаторов сосредотачиваются именно на поздних, лучше документированных и более увлекательных для неспециалиста эволюционных событиях. Современные же методики исследований принесли множество новых данных именно о ранних стадиях становления жизни. Исследования последних 10 лет периодически попадали в научные новости, но только в «Рождении сложности» они собраны под одной обложкой, сведены в систему и изложены простым языком. Даже биологи, не занимающиеся эволюцией (не говоря уж о широком круге читателей), часто не знают, что главной моле-



Марков А.В. РОЖДЕНИЕ СЛОЖНОСТИ. ЭВОЛЮЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ СЕГОДНЯ: НЕОЖИДАННЫЕ ОТКРЫТИЯ И НОВЫЕ ВОПРОСЫ.

М.: Астрель: CORPUS, 2010. 527 с.

* www.evolbiol.ru

** www.elementy.ru

кулой ранней жизни, по всей вероятности, была РНК (а не ДНК или белок), недооценивают роль кооперации в бактериальных сообществах и не задумываются о вкладе архейных белков в способность нашей клетки к работе с генетической информацией.

Между тем задумываться обо всем этом интересно, и «Рождение сложности» можно рассматривать как сборник биологических головоломок. Автор ставит задачу — что делать, если вы живая клетка и вам нужно бороться с появившимся в среде ядовитым кислородом, или с сотнями тысяч разнообразных вирусов, или с бессмысленными последовательностями внутри ценного гена? Пока текст рассказывает о проблеме и о теоретически возможных способах борьбы с ней, вжившийся в ситуацию читатель придумывает какой-нибудь выход: а вот можно пустить кислород на создание воды, запустить мутационный процесс для создания новых антител, вырезать бессмысленные нуклеотиды на стадии РНК или белка. Когда оказывается, что в ходе эволюции проблема была решена именно так, человек испытывает восторг. Если читатель не угадал, ему остается только дочитать главу до конца и изучать раздел «что почитать на эту тему в интернете»: наверняка выяснится, что кто-то из живых существ пробовал и другие варианты.

Книгу можно читать подряд, как художественное произведение (главный герой — развивающаяся органическая жизнь). В принципе, ее можно использовать и как основу для небиологических спекуляций. Раз уж их все равно всегда строят на основе книг об эволюции, лучше по крайней мере опираться на современные представления о ней. Тогда обобщения получатся хорошими и гуманными. Марков уделяет много внимания «эволюции с человеческим лицом»: на многочисленных примерах он показывает, что



Многочелюстные агрегаты *Bacillus subtilis*, образующиеся в результате сложного коллективного поведения, порой напоминают снежинки.

эволюционного успеха добивается не та популяция, которой удалось всех победить в ходе безжалостной конкуренции, а та, которая добилась взаимовыгодного сотрудничества с другими видами. Долгое время роль симбиоза недооценивали

даже биологи, а теперь накоплено множество фактов, подтверждающих, что ни один вид не может существовать без биохимических связей с другими, намного более тесных и сложных, чем привычные пищевые цепочки.



Инфузории (на фото — инфузория *Oxytricha*) — самые сложные из одноклеточных организмов, и вообще — верх того, что смогла создать эволюция на одноклеточном уровне. Строение инфузорий во многом напоминает многоклеточных, даром что клетка всего одна.



Реконструкция аномалокариса: сегментированное тело с «плавательными лопастями» напоминает некоторых кольчатых червей. Однако передние хватательные конечности и крупные глаза на стебельках — в точности как у членистоногих.

Хотя книга ориентирована на людей без биологического образования, некоторым из них «Рождение сложности» кажется скучным и тяжелым для восприятия. Все-таки современная биология — очень сложная и обширная область знаний, и чтение такой подробной книги требует интеллектуальных усилий. Правда, книгу можно и не читать подряд — ее можно держать под рукой в качестве учебника или справочника. Любопытный человек периодически сталкивается в научных новостях с терминами, которые не входили в школьную программу и плохо объясняются в большинстве доступных источников, но при этом очень важны для понимания современной науки. Самый лучший способ узнать (или вспомнить) базовые

вещи об эпигенетическом наследовании, или о мобильных генетических элементах, или о *Нох*-генах — открыть книгу Маркова.

А еще «Рождение сложности» можно читать просто как книгу о животных и прочих живых организмах. Автор с большой симпатией относится ко всяким тварям, о которых пишет, и читатель тоже оказывается очарован. В книге можно познакомиться с «неправильными» морскими ежами и узнать, зачем они сместили свое анальное отверстие назад, хотя всякому приличному иглокожему подобает размещать его в самой верхней точке панциря. Можно узнать о вендских беспозвоночных, которые были склонны к самым причудливым формам симметрии, и о сменивших их

кембрийских, вовсе уже ни на что не похожих. Маркову из них больше всего нравится хищный аномалокарис, чьи конечности долго принимали за креветок, а ротовой диск — за отпечаток медузы. Но читатели все-таки обычно больше восхищаются галлюцигенией, которую ученые чуть было не заставили ходить животом вверх, так как не могли решить, какие из ее многочисленных отростков считать ногами.

Рассказ о животных невозможен без рисунков. К сожалению, их в книге меньше, чем хотелось бы, и к тому же все цветные иллюстрации вынесены в отдельные вклейки и иногда находятся очень далеко от соответствующего раздела в тексте. Тем не менее ее стоит читать в бумажной варианте (текст уже доступен в интернете), потому что ее приятно держать в руках. Хорошее оформление свойственно всем книгам, поддержанным фондом «Династия»: прекрасный дизайн обложки, современная верстка, качественные фотографии и рисунки. Опечаток нет (во всяком случае при первом прочтении они не заметны), есть подробное оглавление, книга дополнена словарем терминов. Особенно важно, что все упомянутые в тексте исследования сопровождаются ссылками на первоисточники, а каждая глава заканчивается списком интернет-ресурсов по рассматриваемой теме.

Если в каком-нибудь диалоге нужно привести пример научно-популярной книги, которая одновременно хорошо написана и хорошо издана — смело можно вспоминать «Рождение сложности». По всей видимости, это лучшая на сегодняшний день русскоязычная книга по эволюционной биологии. ■

Планетология. Геокриология

И.А.Комаров, В.С.Исаев.

КРИОЛОГИЯ МАРСА И ДРУГИХ ПЛАНЕТ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ. М.: Научный мир, 2010. 232 с.

Это свод опубликованной информации по криологическим условиям и проявлениям криогенных процессов на планетах Солнечной системы и их спутниках. Основное внимание уделено Земле и Марсу, который стал в настоящее время центральным объектом многих международных исследовательских программ. Рассмотрены достижения и мировой опыт в области применения современной измерительной аппаратуры, ее технические характеристики.

В книге показаны оригинальные разработки авторов по вопросам физического и математического моделирования криогенных процессов; математическому моделированию температурных и массовых полей в верхних горизонтах Марса, а также полей напряжений и деформаций; методикам экспериментального изучения теплофизических и механических свойств земных образцов — аналогов выявления временной и пространственной изменчивости составляющих радиационно-теплого баланса поверхности Марса, температур поверхности и их амплитуд; интерпретации наблюдаемой с орбитальных станций информации по характеру и динамике проявлений криогенных процессов в верхних горизонтах Марса. На основе гипотез о наличии в недрах мерзлых пород и высокоминерализованных рассолов, по результатам последних наблюдений, величина мощности мерзлых пород и криосферы Марса ощутимо уменьшилась по сравнению с более ранними расчетами.

Издание рассчитано на исследователей в области сравнительной планетологии, широкий круг геокриологов, а также специалистов, занимающихся разработкой методов геологической съемки и мониторинга территории с использованием данных дистанционных измерений с орбиты.

Гидрология

В.И. Данилов-Данильян, И.Л. Хранович. УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ. СОГЛАСОВАНИЕ СТРАТЕГИЙ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. М.: Научный мир, 2010. 232 с.

В книге рассмотрены различные аспекты (экологический, экономический, социальный, политический) нарастающего глобального водного кризиса и возможности России в решении проблем дефицита водных ресурсов. Показаны особенности управления водными ресурсами внутри страны и на международном уровне. Предложены процедуры согласования стратегий водопользования в условиях неопределенности и соответствующие комплексы математических моделей, в которых, наряду с объемами водных ресурсов, реально получаемых водопользователями, присутствуют ориентировочные значения этих объемов, которые играют роль виртуальных ресурсов («гарантированные» объемы).

Авторы представляют согласование стратегий водопользования в иерархических структурах и в системах, использующих трансграничные водные объекты; приводят обоснование долгосрочных стратегий водопользования и планирования водоохранных мероприятий, а также стратегий управления совместным использованием поверхностных и подземных вод. Также они разработали подходы к формированию

рынков водопользования и водоотведения; исследовали методологические основы природной ренты и устойчивого функционирования водохозяйственных систем.

Книга предназначена для специалистов по экономике природопользования и управлению водными ресурсами.

Биогеохимия

В.И.Пересыпкин. БИОГЕОХИМИЯ ЛИГНИНА. М.: ГЕОС, 2010. 340 с.

Книга представляет собой первую монографию, в которой всесторонне рассматриваются: молекулярный состав, распределение, потоки, баланс и формы существования лигнина в гидросфере. Она основана на химико-аналитическом изучении и обобщении материалов 25-летних исследований лигнина в различных объектах гидробиосферы. Лигнин (от лат. lignum — дерево, древесина) входит в состав почти всех наземных растений и по распространенности среди природных высокомолекулярных соединений занимает второе место после полисахаридов. В море лигнин синтезируется в крайне малом количестве и имеет специфический состав.

В монографии приведены данные по лигнину высших наземных растений, мхов, лишайников, грибов, почв, морских водорослей, взвеси из морских и озерных осадков, аэрозолей, коллоидного и растворенного вещества. Отдельные разделы книги посвящены биосинтезу, структуре и разложению лигнина, его переработке и связанному с ней загрязнению морской среды. Наиболее полно рассматривается молекулярный состав фенолов лигнина морских отложений.

Книга представляет интерес для широкого круга исследователей.

дователей: океанологов, геохимиков, экологов, почвоведов, географов и всех тех, кто изучает круговорот природных и техногенных веществ в биосфере.

История науки

В.Г. Андриенко. ЛЕДОКОЛЬНЫЙ ФЛОТ РОССИИ, 1860-е—1918 гг. / Отв. ред. Л.Г. Цой. М.: Европейские издания, 2009. 536 с.

В книге воссоздается история создания и использования первых в России ледокольных судов — от появления в 1862 г. в Кронштадте маленького ледокольного судна «Пайлот» и до вступления в строй в 1917 г. мощного морского ледокола «Святогор», последнего ледокола Российской империи. Отсчет можно вести и от применения того же «Пайлота» до создания в годы Первой мировой войны ледокольной флотилии на Белом море и проведения в 1918 г. Балтийским флотом «Ледового похода».

Более чем полувековой отрезок времени, в течение которого создавался ледокольный флот, делится на три этапа.

На первом (60—80-е гг. XIX в.) предпринимались попытки борьбы со льдом в отечественных водах с помощью небольших паровых ледокольных судов различного назначения (буксирных, спасательных, пожарных, грузопассажирских). В 60-е гг. начинаются опыты по продлению навигации в районе Кронштадта с использованием портового судна «Лоцман» и парохода Бритнева «Пайлот». В 70—80-е гг. подобные суда появляются в других балтийских и черноморских портах.

На следующем этапе, с 1891 по 1910 г., государственные ведомства и частные общества приобретают для большей части своих портов и гаваней ледоколы и ледокольные буксиры

специальной постройки. Почти все эти суда вошли в строй до начала Русско-японской войны 1904—1905 гг. Особое место среди них занимал огромный по тем временам и уникальный ледокол «Ермак» мощностью в 12 тыс. л.с. В 1908-1909 гг. началось плановое проведение ледокольных работ в портах Балтийского и Черноморско-Азовского бассейнов.

Наконец, на завершающем этапе (1910—1917) осуществляется сначала государственное планирование строительства новых ледоколов для гражданских и военных ведомств, а затем реализуется плановая постройка ледоколов для всех морских бассейнов страны. В ходе начавшейся в 1914 г. Первой мировой войны эти планы удалось выполнить почти в полном объеме.

В 1891 г. в Днепровско-Бугском лимане на Черном море начал работать первый ледокол мощностью 1 тыс. л.с., а к 1917 г. в России насчитывалось более 40 ледоколов, а также десятки других судов ледового плавания (буксиров, паромов, ледокольных пароходов и т. д.). В отечественном флоте появились морские гиганты мощностью 6—10 тыс. л.с., такие как «Царь Михаил Федорович» («Волынец»), «Ермак» и «Святогор» («Красин»).

Созданный к 1917 г. ледокольный флот до начала Великой Отечественной войны выполнял нелегкую работу на всех замерзающих бассейнах страны, включая абсолютно новые для него функции — обеспечение арктической навигации на Северном морском пути. Пополнение этого флота новыми ледокольными судами началось только в конце 30-х гг. XX в.

Исторические и технические данные о большей части ледокольных судов, их чертежи, схемы и фотографии приведены на основе архивных доку-

ментов. В приложении дана «Хроника истории судов ледового плавания в России». Книга будет интересна всем, кто интересуется историей отечественного судостроения и флота.

История науки

Дж. Уотсон. ИЗБЕГАЙТЕ ЗАНУДСТВА. УРОКИ ЖИЗНИ, ПРОЖИТОЙ В НАУКЕ / Пер. с англ. П.Петрова. М.: Астрель; CORPUS, 2010. 463 с.

Знаменитый биолог Джеймс Уотсон прославился тем, что в 1953 г. (вместе с коллегами Фрэнсисом Криком и Моррисом Уилкинсом) открыл структуру молекулы ДНК, за что получил Нобелевскую премию, а человечество узнало, как на самом деле устроен механизм хранения и передачи генетической информации. Двойная спираль ДНК стала сегодня одним из самых узнаваемых научных символов. Позднее Уотсон стал первым директором Национального центра исследования человеческого генома (США) и возглавил проект «Геном человека».

Это ярко и талантливо написанная автобиография ученого, в которой Уотсон не только рассказывает о своем жизненном пути, но и дает советы, как добиться успеха в научной карьере. Автор пишет о своем открытии, о том, как функционирует американская наука, и о тех уроках, которые он смог извлечь из собственного жизненного опыта, а также из опыта наблюдений за другими людьми. Это обстоятельство делает книгу Уотсона не просто увлекательной, но еще и полезной: это одновременно и мемуары ученого, и пособие по достижению успеха в науке. Автор дает читателю практические советы, как сделать успешную карьеру и, возможно, совершить выдающееся открытие самому.

Щит Собесского

Forte scutum salus ducum
(Крепкий щит — спасение вождей).

А.В.Кузьмин,
кандидат физико-математических наук
Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН
Москва

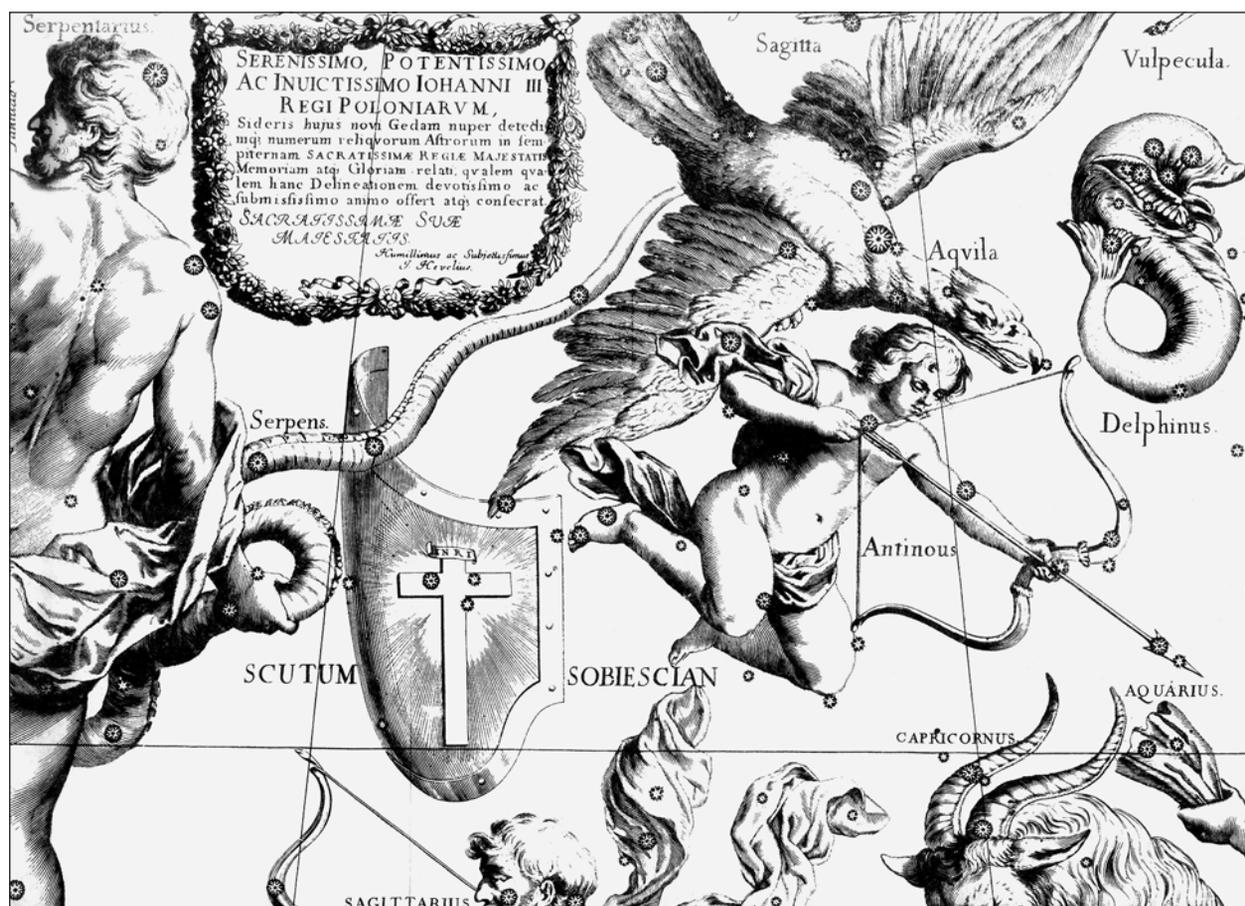
Семнадцатый век — апофеоз противостояния европейских держав и Османской империи. Конфликт араб-мусульманского мира и мира христианской Европы отражен во многих ключевых письменных памятниках: от романского эпоса до первого современного романа — «Дон Кихота» Сервантеса, который, кстати, отдает свое авторство некоему арабскому мудрецу и называет соб-

ственное великое произведение лишь скромным переводом.

Щит — созвездие экваториальной области неба, впервые появляется в звездном атласе «Уранографии» Я.Гевелия. Полное его изначальное название Щит Собесского (Scutum Sobiescian) — уникальный случай присутствия на современной карте созвездия, созданного во славу христианского владыки. Названо оно Яном Гевелием в честь его покровителя, польского короля Яна III Собес-

ского, которого современники называли посланником неба — такое уважение тот сникал своей победой над турецкой армией под Веной в 1683 г. Это событие вызвало торжество не только в Польше, но и во многих странах Европы. Уникальный пример, когда в названии созвездия сошлись и христианский, и геральдический символы, причем одновременно, поскольку внешняя поверхность Щита содержит изображение креста. Разумеется, появление

© Кузьмин А.В., 2011



Щит Собесского. «Уранография» Я.Гевелия.

такого украшения здесь совсем не случайно и обладает равным (если не первым) смыслом вместе с самим Щитом.

Титульный лист «Уранографии» украшает гравюра «Триумф Урании». Здесь изображен Гевелий, представляющий на суд Урании и 10 величайших астрономов результаты своих трудов. В левой руке у Гевелия — Секстант Урании, в правой — Щит Собесского. Небесные символы доблести — доблести ратной победы христианского владыки и победы человеческого разума над тайнами Вселенной. Перед ним развернут пер-

гамент с надписью на латыни, русский перевод которой может звучать так: *Все, что уделила Божественная милость, я предлагаю, представляю и поручаю Высшему суду.* За фигурой Гевелия следует символический ребус из фигур вновь созданных им небесных символов: Ящерицы, Лисички с Гусем, Гончих Псов, Рыси, Малого Льва, Цербера. Кстати, Ящерица Гевелия соперничала с двумя европейскими символами могущества — ее место на ночном небосклоне на французских картах того времени занимали Скипетр и аллегорическое изо-

бражение Справедливости, посвященные Людовику XIV.

Единство и борьба Востока и Запада. Нам остается лишь знание — знание истории. Щит Собесского кульминирует около полуночи в самый разгар лета, находясь в пределах Млечного Пути между Змеей Змееносца, Орлом и Стрельцом. Возможно, именно эта история вдохновила Федора Ивановича Тютчева:

*...Глухая полночь! Все молчит!
Вдруг... из-за туч луна блеснула —
И над воротами Стамбула
Олегов озарила щит.*

«Олегов щит». Около 1850 г. ■

Литература

1. Бахтина Е.Н. Книга звезд. М., 1997.
2. Гевелий Я. Атлас звездного неба / Под ред. В.П.Щеглова. Ташкент, 1970.
3. Тютчев Ф.И. Стихотворения... М., 1988.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь

Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы

О.О.АСТАХОВА

Л.П.БЕЛЯНОВА

Е.Е.БУШУЕВА

Г.В.КОРОТКЕВИЧ

К.Л.СОРОКИНА

Н.В.УЛЬЯНОВА

Н.В.УСПЕНСКАЯ

О.И.ШУТОВА

С.В.ЧУДОВ

Литературный редактор

Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор

Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией

И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор

Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:

С.В.ЧУДОВ

Набор:

Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:

М.В.КУТКИНА

Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:

А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:

Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
Факс: (499) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 14.01.2011
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 1037
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6