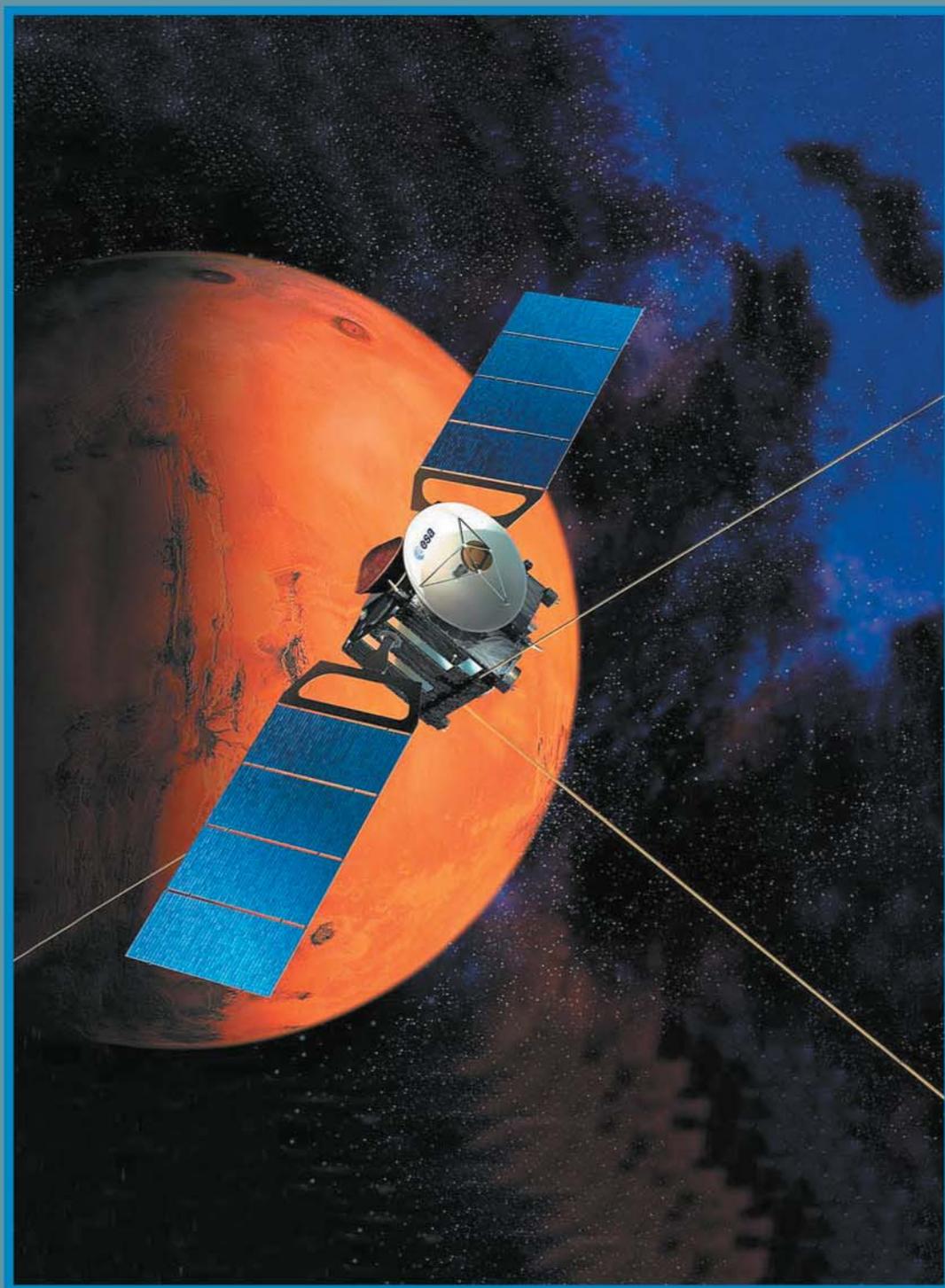


ПРИРОДА

9 05



В НОМЕРЕ:**3 О КОСМОСЕ И О ЗЕМЛЕ**

К 40-летию Института космических исследований РАН

Ермолаев Ю.И., Зеленый Л.М.

«Ветер, ветер, ты могуч...»

Солнечный ветер и космическая погода (4)

О том, что ожидаются геомагнитные возмущения, мы часто слышим в метеорологических сводках. Как воздействие от Солнца передается Земле с помощью солнечного ветра и насколько точны могут быть подобные прогнозы? Эти вопросы много лет изучаются в отделе космической плазмы ИКИ.

Павлинский М.Н., Вихлинин А.А., Ревнивцев М.Г., Арефьев В.А.

Рентгеновские маяки Вселенной
Астрофизика высоких энергий (15)

Благодаря целой флотилии спутников-обсерваторий, изучающих небо в рентгеновском и гамма-диапазонах длин волн, собирается информация о разнообразных процессах во Вселенной — от аннигиляции позитронов до вспышек сверхновых.

Мороз В.И., Кораблев О.И., Родин А.В.

Новые исследования Марса и сравнительная планетология (25)

Успехи в исследованиях Марса последних лет дали толчок к развитию сравнительной планетологии — науки об общих закономерностях формирования и развития планет.

Митрофанов И.Г.

Поиски воды на Марсе (34)

Впервые в практике космических исследований в российском научном приборе, установленном на американском космическом аппарате, был использован метод нейтронной спектроскопии для поиска воды в приповерхностном слое Марса.

Барталев С.А., Лупян Е.А.

Спутниковый мониторинг бореальных экосистем (44)

Существующие в настоящее время спутниковые приборы и методы анализа данных дистанционного зондирования позволяют получать оценки характеристик растительного покрова, необходимых для исследований изменений климата и биосферы.

Бреус Т.К., Рапопорт С.И.

Возрождение гелиобиологии (54)

К настоящему времени получены убедительные доказательства влияния крайне слабых переменных электромагнитных полей на биологические системы. Хотя единого мнения по поводу механизма такого воздействия еще нет.

63**Калейдоскоп**

Куда девается углекислый газ? (63). Корабельный червь в Балтийском море (63). Метеоритное поле в Ливийской пустыне (63). Космический телескоп будет еще мощнее (63). Научно-политический «прорыв» в пустыне (64). «Перековать эсминец в кораллы» (64).

65

Алёшин В.В., Мыльников А.П., Петров Н.Б.

Дерево корненожек

Научные сообщения**73**

Панова Т.Д.

Грот Александровского сада, археология и... мухоморы

Басов И.А.

Газогидраты в осадках континентальной окраины 204-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн» (75)

77**Новости науки**

В поисках темного вещества (77). Рентгеновское излучение протозвезды. **Вибе Д.З.** (77). Когда на Марсе еще шли дожди (78). Программа «Двойная звезда» (79). Нанотрубки-манганиты (79). Разнообразие рыб как память об исчезнувшем озере. **Гиляров А.М.** (80). Для конюг-крошек 100 километров за едой — не крюк. (81). Обоняние у трубконосых птиц (81). В очереди на размножение (82). Как воют шимпанзе (82). Пластмассы загрязняют океан (83). Япония и Китай изучают дно океана (83). Леса Бразилии под угрозой (83). Палеоклимат Новой Зеландии (84). Археоптерикс летал как курица? (84). Динозавры Антарктики (85). Новости из Стоунхенджа (85).

Коротко (62)

Рецензии**86**

Сурдин В.Г.

О науке — доступно и кратко

90**Новые книги****Встречи с забытым****92**

Филина Л.А.

«Люди вглядывались в темную синеву небес и мечтали...»

CONTENTS:

3 ON SPACE AND EARTH

To 40th Anniversary of Space Research Institute (IKI) RAS

Yermolaev Yu.I., Zelenyi L.M.

**«Wind, Wind, You Are Mighty...»
Solar Wind and Space Weather (4)**

We often hear about expected geomagnetic disturbances in weather prediction reports. How influence is transmitted from the Sun to the Earth by solar wind and how precise these forecasts can be? Answers just to these questions have been of primary interest of space plasma department of IKI.

**Pavlinisky M.N., Vikhlinin A.A.,
Revnitsev M.G., Aref'ev V.A.**

**X-Ray Lighthouses of Universe
High Energy Astrophysics (15)**

A fleet of space X-ray and gamma-ray observatories provides information on different phenomena in the Universe, ranging from electron-positron annihilations to supernovae explosions.

Moroz V.I., Korablev O.I., Rodin A.B.

**New Mars Explorations
and Comparative Planetology (25)**

Recent advances in Mars explorations gave impetus to development of comparative planetology — a science on general mechanisms of formation and evolution of planets.

Mitrofanov I.G.

Water Explorations on Mars (34)

For the first time in practice of space explorations the method of neutron spectroscopy was used in Russian scientific instrument mounted at American space probe for finding water in near-surface layer of Mars.

Bartalev S.A., Lupyan E.A.

**Satellite Monitoring
of Boreal Ecosystems (44)**

Modern satellite instruments and methods of remote probing data analysis give estimates of vegetative cover characteristics needed to study changes of climate and biosphere.

Breus T.K., Rapoport S.I.

Revival of Heliobiology (54)

Up to now there is convincing evidence of influence of extremely weak variable electromagnetic fields on biological systems. But consensus of opinion on mechanism of this influence have not emerged yet.

63

Kaleidoscope

Where Carbon Dioxide Is Disappearing? (63). Ship Worm in Baltic Sea (63). Meteorite Field in Libyan Desert (63). Space Telescope Will Be Even More Powerful (63). Scientific and Political «Breakthrough» in a Desert (64). «Reforge Torpedo-Boat into Corals» (64).

65

Aleshin V.V., Myilnikov A.P., Petrov N.B.

Phylogenetic Tree of Rhizopoda

Scientific Communications

73

Panova T.D.

**Aleksandrovsyki Garden Grotto,
Archeology and... Toadstools**

Basov I.A.

**Gasohydrates in Sediments
of Continental Edge**

204th Expedition of «JOIDES Resolution» (75)

77

Scientific News

In Search of Dark Matter (77). X-Ray Radiation of Protostar. **Vibe D.Z.** (77). When There Still Were Rains at Mars (78). Project «Double Star» (79). Manganite Nanotubes (79). Fish Diversity as a Memory about Disappeared Lake. **Ghilyarov A.M.** (80). 100-km Passage for Food Is Not a Big Detour for Least Auk. (81). Smell in Birds of Order Procellariiformes (81). Standing in a Queue for Reproduction (82). How Chimpanzee Wage War (82). Plastics Pollute the Ocean (83). Japan and China Explore Ocean Bed (83). Brazilian Forests Are Endangered (83). Paleoclimate of New Zealand (84). Archaeopteryx Fled Like Chicken? (84). Antarctic Dinosaurs (85). News from Stonehenge (85).
In Brief (62)

Book Reviews

86

Surdin V.G.

On Science — Simply and Briefly

90

New Books

Encounters with Forgotten

92

Filina L.A.

**«People Peered into Dark Blue Skyes
and Dreamt...»**

О КОСМОСЕ И О ЗЕМЛЕ



15 мая 1965 г. было подписано Постановление Совета Министров СССР о создании Института космических исследований Академии наук СССР. ИКИ был задуман как головной институт академии по исследованию и использованию космического пространства в интересах фундаментальных наук.

ИКИ образовался не на пустом месте. Его корни уходят в тот период, когда в Советском Союзе начались практически регулярные эксперименты на аппаратах серии «Космос», выполнялись первые планетные исследования с борта автоматических межпланетных станций, запускались лунные станции, выводились на орбиты высотные магнитосферные спутники «Электрон» и разрабатывалась перспективная программа «Прогноз». Все эти проекты реализовывались силами коллективов, работавших по космической тематике в различных институтах как Академии наук, так и других ведомств. Были получены ценные научные результаты, наметились перспективы новых проектов, которые требовали концентрации усилий экспериментаторов. Поэтому вполне естественным стало желание объединить все исследования космоса в одном мощном институте, который также имел бы в своем распоряжении фундаментальную проектно-конструкторскую и производственную базу.

Эта идея целиком и полностью была поддержана тогдашним Президентом Академии наук академиком М.В.Келдышем, внесшим значительный вклад в претворение в жизнь советской космической программы. Мстислав Всеволодович не только принимал непосредственное участие в организации ИКИ, но и был, по сути, основной движущей силой этого процесса, особенно в первые, самые трудные годы его становления. Символично, что здание института находится на площади, носящей имя Келдыша. Первым директором института был назначен академик Г.И.Петров (до этого он возглавлял лабораторию отраслевого Научно-исследовательского института тепловых процессов). За время его руководства (1965–1973) новый институт занял достойное место среди других научных организаций академии. Затем на посту директора Петрова сменил известный физик-плазменщик академик Р.З.Сагдеев, вернувшийся к тому времени в Москву из Сибирского отделения АН СССР. Чрезвычайно успешный проект ВЕГА – исследования атмосферы Венеры и кометы Галлея – по-видимому, стал кульминацией славного «советского» периода развития института. В 1986 г. за значительный вклад в развитие отечественной науки и техники ИКИ был награжден орденом Ленина, орденами и медалями были награждены многие сотрудники института. Дальнейшие годы были трудными как для ИКИ, так и для всей российской науки.

В 1988 г. директором института был избран ученик Сагдеева член-корреспондент АН СССР, ставший вскоре академиком, А.А.Галеев. С 2002 г. ИКИ РАН возглавляет уже ученик Галеева член-корреспондент РАН Л.М.Зеленый.

С ИКИ РАН связаны имена таких выдающихся ученых страны, как академик Я.Б.Зельдович и его ученик академик Р.А.Сюняев; член-корреспондент И.С.Шкловский и его ученик академик Н.С.Кардашев, доктора физико-математических наук П.Е.Эльясберг, К.И.Грингауз, В.И.Мороз, Ю.И.Гальперин, С.С.Моисеев, Г.С.Нариманов.

Сотрудники института принимали непосредственное участие в подготовке программ космических исследований, разработке, изготовлении и испытаниях научных приборов, получении и обработке научной информации с космических аппаратов, запускаемых по национальной космической программе – автоматов серии «Космос», «Прогноз», «Марс», «Венера», «Луна» и др.; пилотируемых кораблей «Союз» и орбитальных станций «Салют» и «Мир». Не обходились без них и многочисленные международные проекты – «Союз–Аполлон», АРАКС, СНЕГ, «Радуга», «Интершок», «Ореол», ВЕГА, «Фобос», «Гранат», «Квант», «Гамма», «Интербол».

Сегодня ИКИ РАН выполняет большой объем работ по проектам Федеральной космической программы, ведет несколько десятков тем на основе базового бюджетного финансирования, по хоздоговорам, грантам РФФИ и зарубежным грантам.

О научных достижениях сотрудников института, ближайших космических проектах с их участием, перспективных направлениях исследований расскажем предлагаемые вниманию читателей статьи.

«Ветер, ветер, ты могуч...»

Солнечный ветер и космическая погода

Ю.И.Ермолаев, Л.М.Зеленый

По мере развития техники вообще и космической в частности становится все очевиднее: космические факторы заметно воздействуют на многие технологические системы как внеземного, так и наземного базирования. Кроме того, эти факторы влияют и на биологические объекты, включая человека (не только на космонавтов в сложных условиях космического полета, но и на простых жителей Земли) [1–4]. Еще в конце 60-х годов прошлого столетия в нашей стране было решено создать серию космических аппаратов для изучения солнечно-земных связей и прогноза состояния околоземного космического пространства. Эта серия искусственных спутников Земли получила название «Прогноз», которое и без пояснений указывает на ставившиеся задачи. Первые два таких спутника стартовали 14 апреля и 29 июня 1972 г. В работу по этой программе включилась большая группа сотрудников Института космических исследований, о чем мы и расскажем.

Немного о солнечно-земных связях

Сначала остановимся на некоторых представлениях, используемых при описании сис-



Юрий Иванович Ермолаев, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией по теоретическому и экспериментальному изучению солнечного ветра и его влияния на околоземное пространство ИКИ РАН. Участник экспериментов на искусственных спутниках Земли «Прогноз-7, -8», «Прогноз-10—Интеркосмос» (проект «Интершок»), «Прогноз-11, -12» (проект «Интербол»).



Лев Матвеевич Зеленый, член-корреспондент РАН, лауреат премии Гумбольдта, директор ИКИ РАН, профессор Московского физико-технического института. Область научных интересов — теория токовых слоев и пересоединения в бесстолкновительной плазме, турбулентность и процессы переноса в космической среде. Член ряда международных научных организаций, включая Международную академию астронавтики.

темы Солнце—Земля. Под солнечно-земными связями обычно понимают всю совокупность прямых и опосредованных воздействий со стороны Солнца на процессы в околоземном пространстве и на Земле (рис.1) [3]. По сложившейся традиции, из анализа исключаются стационарные эффекты, и рассматриваются главным образом процессы передачи возмущений вдоль всей цепочки.

Существует два канала передачи энергии от Солнца к Земле: электромагнитное и корпускулярное излучения. Основная доля энергии Солнца — около 1,37 кВт на 1 м² поверхности (что соответствует мощности электрического чайника) — поступает по электромагнитному каналу. Этот поток энергии лежит главным образом в видимом и инфракрасном диапазоне длин волн. Его величина сохра-

няется с высокой точностью и носит название «солнечная постоянная», так как изменения не превышают долей процента. Он достигает Земли за 8 мин, большей частью поглощается атмосферой и поверхностью Земли и играет определяющую роль в формировании нашего климата. Излучение в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазоне длин волн сильно изменяется при развитии активных процессов на Солнце, однако доля его в общем потоке лучистой энергии крайне мала (даже во время сильнейших солнечных вспышек, когда поток рентгеновского излучения возрастает на три порядка, он остается на шесть порядков меньше солнечной постоянной), а от его губительного воздействия все живое на Земле защищено атмосферой. Второй канал — корпускулярное излучение, — будучи на несколько порядков слабее по величине переносимой энергии, оказывается ключевым при формировании космической погоды, и именно его мы и будем в дальнейшем рассматривать.

Корпускулярное излучение состоит из *солнечного ветра* и *космических лучей*. В последнее время космические лучи принято называть энергичными частицами, что лучше отражает их физическую сущность, так как они представляют собой заряженные частицы — электроны, протоны и другие ионы, — разогнанные до огромных, часто околорелятивистских, скоростей. Эти частицы бывают галактического и солнечного происхождения. Галактические энергичные частицы рождаются за пределами нашей Солнечной системы, их поток на орбите Земли в среднем ниже потока частиц солнечного происхождения, особенно в периоды активности нашего светила. Солнечные энергичные частицы ускоряются во время активных процессов на Солнце (вспышки, разрушение арок и др.) и в межпланетной среде (главным образом на ударных волнах).

По существу, энергичные частицы — это проникающая радиация, которая может разрушать молекулы живой и неживой природы. К счастью, достигнуть поверхности Земли им не дают магнитосфера и атмосфера. Однако в космосе и даже во время трансарктических авиaperелетов они могут представлять угрозу людям и приборам. Именно из-за действия радиации на электронику чаще всего выходят из строя приборы космических аппаратов. Хотя эти частицы и заряжены, их энергии слишком высоки, а концентрация слишком мала, чтобы считать их плазмой. Плазма — это «коллектив частиц», каждая из которых влияет на далеких соседей. А космические лучи — это частицы-«индивидуалисты», никак не связанные друг с другом.

В отличие от космических лучей, частицы солнечного ветра — постоянно «убегающей» плазмы солнечной атмосферы — действуют коллективно и поэтому описываются законами физики плазмы [2]. Хотя их концентрация на орбите Земли составляет в среднем около 10 см^{-3} (с точки зрения земного экспериментатора, это глубочайший вакуум, недостижимый в земных лабора-

ториях), электроны и ионы непрерывно взаимодействуют друг с другом посредством электрических и магнитных полей и ведут себя как идеально проводящая жидкость (электропроводность такой плазмы близка к электропроводности ртути при комнатной температуре).

В целом концепцию, описывающую связь геомагнитных явлений с процессами на Солнце, можно представить следующим образом [5–8]. Источником энергии геомагнитных явлений служит Солнце, которое потоками солнечного ветра передает энергию *магнитосфере* Земли, образующейся в результате обтекания этим ветром земного магнитного диполя (на границе магнитосферы — *магнитопаузы* — давление плазмы и магнитного поля солнечного ветра уравновешивается давлением плазмы и магнитного поля земного происхождения). Энергия от солнечного ветра поступает в магнитосферу лишь в случае, когда межпланетное магнитное поле имеет заметную компоненту, параллельную земному магнитному диполю, т.е. отрицательную (южную) компоненту B_z . В этом случае на дневной части магнитопаузы встречаются противо-

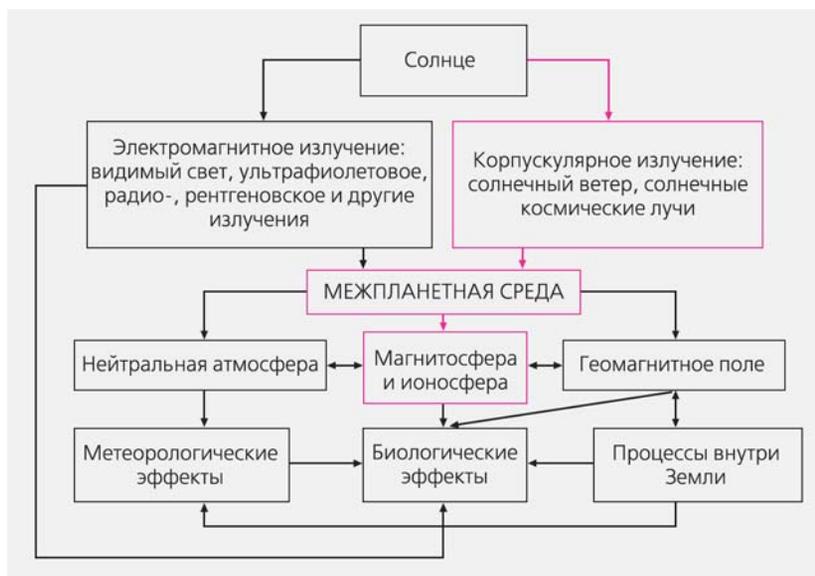


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая солнечно-земные связи. Цветом отмечены связи, рассматриваемые в статье.

положно направленные магнитные поля межпланетного и земного происхождения, и происходит их эрозия (пересоединение), в результате чего магнитосфера становится «открытой» для поступления в нее солнечного ветра. Если скорость поступления энергии оказывается выше скорости ее диссипации, энергия накапливается в магнитосфере. При превышении некоторого определенного уровня накопления любое возмущение вне или внутри магнитосферы может привести к выделению этой энергии (по так называемому триггерному механизму) в виде пересоединения магнитных силовых линий, глобальной перестройки токовой системы магнитосферы и нагрева/ускорения плазмы, т.е. к магнитосферному возмущению. К таким возмущениям относятся сравнительно небольшие возмущения в полярных областях магнитосферы (суббури) и сильные (главным образом в приэкваториальной

области магнитосферы) возмущения (магнитные бури). Для описания магнитных бурь обычно используются два индекса — *Dst*- и *Kp*-индексы, показывающие отклонение магнитной индукции от среднего значения. Первый определяют с помощью магнитометрических станций, расположенных вблизи экватора, второй — на средних широтах (рис.2). Различаются эти индексы также формой представления: *Kp* представляется в квазилогарифмической форме, а *Dst* — в линейной. Средние значения магнитного поля составляют 30–50 тыс. нТ в зависимости от местонахождения станции, а вариации поля во время магнитных возмущений — несколько сотен нанотесла (т.е. не превышают нескольких процентов). В соответствии с расположением сети станций, используемых для измерения, *Dst*-индекс более чувствителен к магнитной буре (изменению кольцевого тока), а *Kp*-индекс реагирует и на маг-

нитные бури, и на полярные суббури, что зачастую приводит к неоднозначности интерпретации наблюдений.

Теория и эксперимент

Существование солнечного ветра было предсказано еще до начала космической эры как по наблюдениям хвостов комет (рис.3), так и на основе теоретических рассуждений советскими, американскими и германскими учеными в 40-е годы прошлого века [2, 3]. После того как удалось установить, что солнечная корона обладает очень высокой температурой (по современным представлениям, до 2 млн градусов), стало понятно: плазма солнечной короны не может полностью удерживаться гравитационным полем Солнца и убегает в межпланетное пространство, заполняя собой и замороженным в нее магнитным полем, вытягиваемым из Солнца, всю гелиосферу (т.е. всю Солнечную систему до границы ее взаимодействия с межзвездным газом). Хотя, грубо говоря, вся Солнечная система находится внутри солнечной короны,

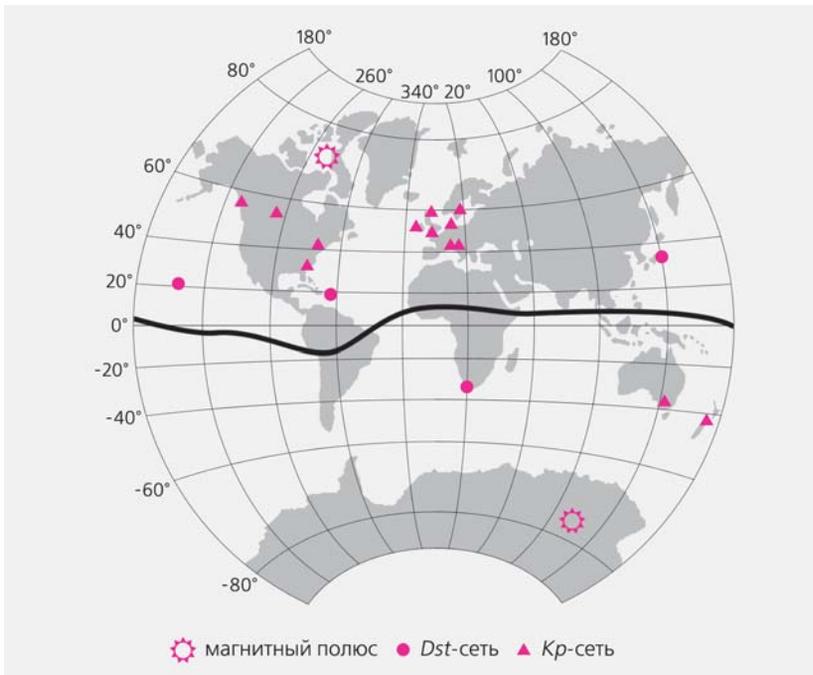


Рис.2. Местоположение магнитных станций, используемых для определения *Kp*- (треугольники) и *Dst*- (кружки) индексов. Звездочки показывают положение магнитных полюсов (ось магнитного диполя Земли отклонена от оси вращения на угол 11.5°, жирной линией показано положение магнитного экватора на поверхности Земли).

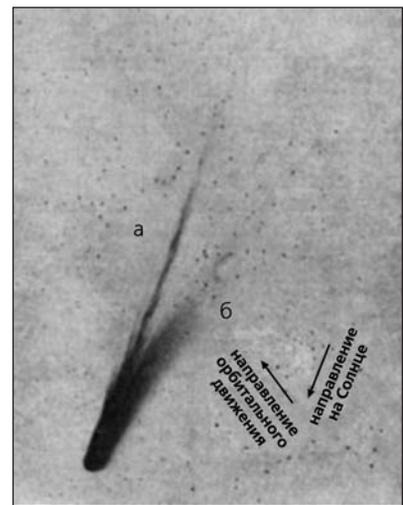


Рис.3. Фотография кометы Мркоса 1957 V (негатив): а — плазменный прямолинейный хвост, б — широкий газово-пылевой хвост.

плазму за пределами нескольких солнечных радиусов от поверхности Солнца принято уже называть солнечным ветром, так как его характеристики сильно отличаются от характеристик плазмы в основании короны. Сам термин, по-видимому, впервые появился в немецкой научной литературе, а главным пионером теоретического изучения этого явления стал Е.Паркер (США). Существование солнечного ветра было доказано экспериментально в 1959 г. группой советских ученых во главе с К.И.Грингаузом (1918–1993) с помощью приборов, установленных на космическом аппарате «Луна-2», а позже — «Луна-3».

Паркер сделал принципиальный для описания солнечного ветра шаг. Вместо интуитивно понятного гидростатического уравнения, предполагающего, что гравитация уравновешивается давлением газа солнечной атмосферы

$$\frac{dp}{dr} = -\rho \frac{GM_{\odot}}{r^2},$$

он использовал гидродинамическое уравнение

$$\rho v \frac{dv}{dr} + \frac{dp}{dr} = -\rho \frac{GM_{\odot}}{r^2},$$

допускающее, что такое статическое равновесие не устанавливается и начинается движение газа. Здесь ρ , v , p — плотность, скорость и давление плазмы, r — расстояние от центра Солнца, G — гравитационная постоянная, M_{\odot} — масса Солнца. Решения последнего уравнения в первом приближении удовлетворительно объясняют результаты наблюдений солнечного ветра на орбите Земли ($v = 400$ км/с, $\rho = 10$ см⁻³), но самое главное, что они позволяют скорости превысить скорость звука в среде. Это означает, что условия истечения плазмы в солнечной короне можно сравнить с условиями в реактивном двигателе — сопле Лавали (рис.4.), и

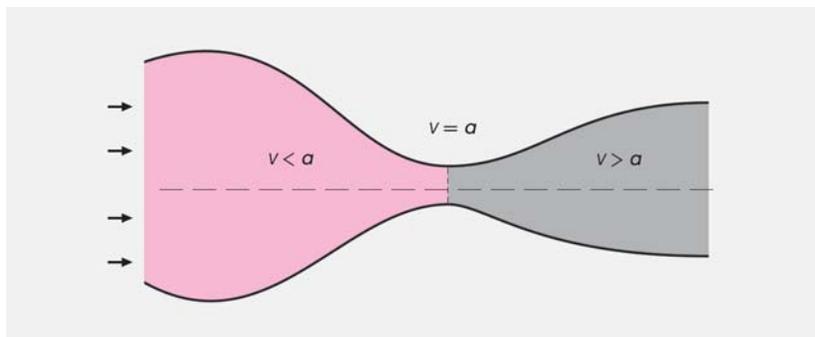


Рис.4. Схематическое изображение течения газа в сопле Лавали; v — скорость газа, a — скорость звука.

плазма на высоте нескольких солнечных радиусов переходит от дозвукового к сверхзвуковому течению. Идея сопла Лавали состоит в том, что дозвуковое течение газа ускоряется при сужении сечения сопла, а сверхзвуковое течение, наоборот, ускоряется при его расширении, т.е. идет непрерывное ускорение газа. Этот принцип лежит в основе работы всех ракетных двигателей. На Солнце роль меняющегося профиля канала течения газа выполняет гравитация. От характера течения зависит взаимодействие солнечного ветра с планетами: прежде чем вступить во взаимодействие с плазменными или газовыми оболочками планет, сверхзвуковой солнечный ветер должен затормозиться, создавая околопланетные ударные волны.

Несмотря на то, что модель Паркера качественно правильно описывала общее поведение параметров солнечного ветра, предсказанные ею значения наблюдались только в экстремально медленном и плотном солнечном ветре. Для получения реально наблюдаемых величин необходимо ввести в уравнения дополнительные источники энергии в области ускорения плазмы (т.е. необходимо отказаться от допущения об адиабатичности истечения плазмы). Механизмы, обеспечивающие нагрев солнечной короны и ускорение солнечного ветра, по всей видимости, имеют общую

природу, но в настоящее время точно неизвестны. Модель Паркера — чисто газодинамическая и не учитывает наличия магнитного поля и его влияния на динамику плазмы в солнечной короне. Источник нагрева солнечной короны связан с диссипацией магнитного поля, но из-за того, что проводимость горячей плазмы солнечной короны очень высока, обычный джоулев нагрев происходит очень медленно и в действие вступают более тонкие, кинетические эффекты, разыгрывающиеся на малых масштабах.

Сложные конвективные течения в фотосфере приводят к образованию иерархий многомасштабных магнитных структур. Магнитное поле при этом становится очень неоднородным, но его изменения на больших масштабах подобны тем, что возникают на масштабах, меньших в десятки и сотни раз. Это позволяет говорить о том, что такое поле может рассматриваться как самоподобная фрактальная структура. Подобная структура, которая формирует распределение магнитного поля в подножии силовых трубок, замороженных в растекающийся солнечный ветер, естественно, влияет и на структуру магнитного поля в нем. В этом смысле можно сказать, что солнечный ветер обладает памятью. Конечно, нелинейные процессы, происходящие в солнечном ветре, приводят к изменению спектра

турбулентности, и в итоге эти два конкурирующих процесса (память о фотосферном источнике и нелинейная самоорганизация) определяют, как устроено магнитное поле солнечного ветра. На рис.5, слева, показано распределение магнитных силовых трубок вблизи поверхности Солнца. В этих расходящихся трубках, напоминающих сопло Лаваля (рис.4), солнечный ветер ускоряется до сверхзвуковых скоростей. Современные теоретические расчеты [9] показывают, что при наблюдениях с борта космического аппарата должен регистрироваться степенной спектр флуктуаций магнитного поля $\sim \omega^{-\alpha}$ (ω — частота флуктуаций) с изломом. Именно такое поведение и демонстрируют многочисленные данные, полученные различными космическими аппаратами. На орбите Земли (1 а.е.) излом происходит на характерной частоте $\Omega_0 = 3 \cdot 10^{-3}$ Гц (т.е. флуктуации обладают периодом 3–4 сут). При больших частотах $\alpha = 5/3$ (результат самоорганизации магнитных силовых трубок в кластеры более крупного размера), при меньших частотах — $3/2$ (следствие эффекта памяти о фотосферном распределении).

Интересно, что с удалением от Солнца (скажем, на орбите Юпитера — на расстоянии 5.2 а.е.) зона, где магнитное поле еще помнит о предыстории, пропадает, и уже весь степенной спектр имеет наклон $5/3$. Распределение магнитных полей в этой области схематически показано на рис.5, справа. Результаты наблюдений межпланетного магнитного поля на космических аппаратах «Voyager-1, -2» в точности согласуются с этим выводом.

Модель Паркера не только не учитывает влияния магнитного поля, но и имеет другое ограничение — носит однокомпонентный характер. В ней рассматривается движение только одной жидкости, в то время как плазма состоит из электронной и ионных составляющих; последние, помимо протонов, включают альфа-частицы (двукратно ионизованные атомы гелия — их около 4%) и более тяжелые ионы (их всех менее 1%), рис.6. Массовый состав солнечного ветра несет ценную информацию не только о параметрах Солнца, но и об образовании всей Солнечной системы из галактического протооблака 4.5 млрд лет назад. Ионизационный

состав (т.е. степень ионизации ионов различных химических элементов) позволяет оценить средние скорости (температуру) в нижней короне, где на узком интервале высот происходит переход от столкновительного режима течения плазмы к бесстолкновительному.

С самого начала космических исследований для изучения химического состава солнечного ветра использовались два метода: (1) экспонирование в солнечном ветре мишеней с последующим их возвратом на Землю и анализом в земных лабораториях и (2) анализ ионов солнечного ветра *in situ* на космическом аппарате в анализаторах, использующих электрические и магнитные поля. Поскольку возвращать образцы на Землю сложно и оперативно получать данные в ходе подобного полета нельзя, в последнее время предпочтение отдавалось второму методу. Первый же, когда использовался более 30 лет назад в США («Apollo-11 и -12») и СССР («Союз-4, -5, -9» и «Луна-16»), дал ценную информацию об изотопном составе и содержании некоторых инертных газов солнечного ветра. В недавнем эксперименте «Genesis»

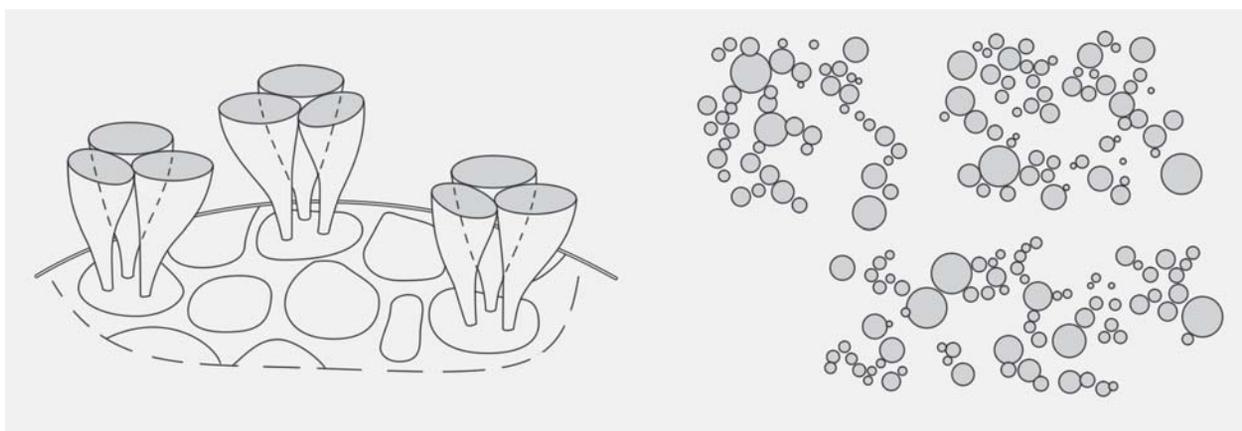


Рис.5. Схематическое изображение структуры магнитного поля: в атмосфере Солнца (слева) и на расстояниях в несколько а.е. от него (поперечное сечение самоподобной «мультифрактальной» структуры, справа). По мере удаления от Солнца межпланетное магнитное поле меняет структуру — за счет нелинейных процессов в солнечном ветре возрастает число мелкомасштабных структур, а вклад крупномасштабных магнитных силовых трубок фотосферного происхождения существенно уменьшается. При пролете подобной структуры мимо космического аппарата регистрируются флуктуации магнитного поля со степенными спектрами, описанными в тексте.

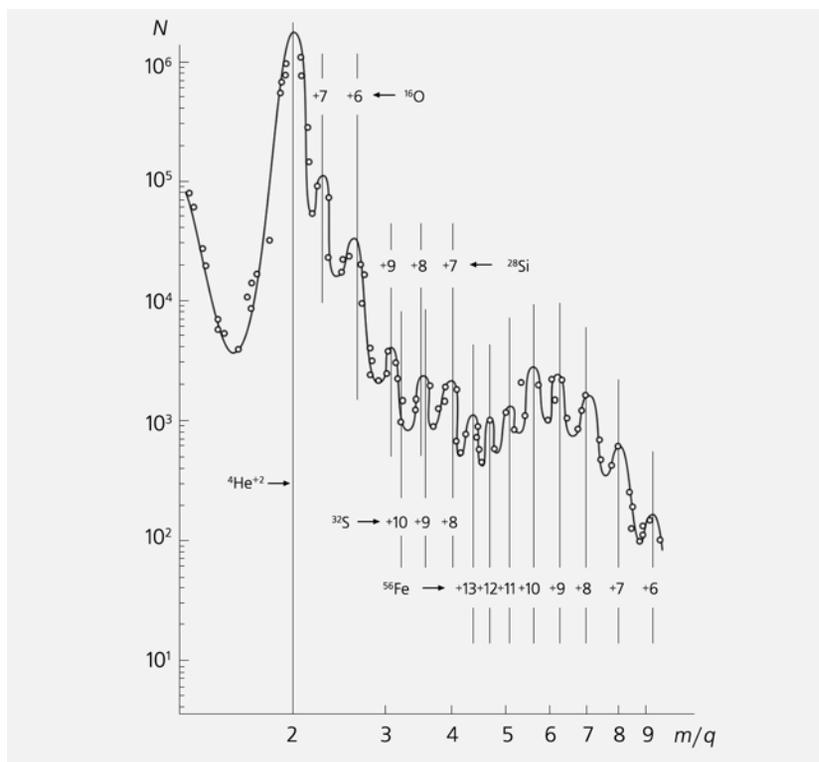


Рис.6. Массовый спектр ионов солнечного ветра, измеренный спутником «Прогноз-7» в 1978—1979 гг. По горизонтальной оси — отношение массы частицы к ее заряду, по вертикальной — число частиц, зарегистрированных в энергетическом «окне» прибора за 10 с. Цифры со знаком «+» обозначают заряд иона. Протонный пик (при $m/q = 1$) не показан, так как он более чем на порядок превышает пик альфа-частиц.

НАСА вернулось к нему и пыталось повторить эти эксперименты на технологически более высоком уровне. К сожалению, проект потерпел неудачу из-за того, что на фазе спуска у аппарата не раскрылся парашют, и капсула с образцами разбилась при ударе о землю. Тем не менее, как сообщают американские коллеги, некоторые ячейки не были полностью разрушены, и есть надежда, что научная информация будет частично сохранена.

По данным прямых измерений, химический состав солнечного ветра (рис.6) хорошо согласуется со средним составом солнечной атмосферы, полученным путем анализа солнечного электро-магнитного спектра, и составом метеоритов, который, как считается, близок к составу

межзвездного газа. Правда, химический состав солнечного ветра гораздо постояннее, чем состав вещества на Солнце, определенные астрономическими методами, и коррелируют только их средние значения. Разная степень изменчивости химического состава солнечной атмосферы и солнечного ветра до сих пор остается загадкой. Результаты регистрации состояния ионизации показывают, что по различным парам ионов температура короны составляет от 1 до 2 млн градусов, а поскольку по распределению плотности вещества в короне можно рассчитать высоту, где происходит «замораживание» ионизационного состояния данного иона, то удастся построить средний радиальный температурный градиент в короне на расстояниях

несколько солнечных радиусов. Одной из загадок остается тот факт, что время от времени наблюдаются заметные потоки однократно ионизованного гелия (на уровне нескольких процентов от потока альфа-частиц), которого для температуры 1 млн градусов должно быть в миллион раз меньше, чем двукратно ионизованного. Интервалы наблюдения однократно ионизованного гелия, как правило, совпадают с интервалами прихода к спутнику так называемых магнитных облаков (см. ниже), поэтому можно предположить, что во время выброса корональной массы, порождающего магнитное облако на расстоянии в 1 а.е., часть холодной (температура несколько тыс. градусов) фотосферной плазмы, экранированной от горячей плазмы короны сильным магнитным полем, пересекает горячую корону, не изменив своего ионизационного состояния.

Солнечный ветер и магнитные бури

Как мы уже отмечали выше, поступление энергии в магнитосферу и магнитные возмущения на Земле возможны только тогда, когда межпланетное магнитное поле содержит большую и длительную южную компоненту, появление которой обычно связано с определенным типом солнечного ветра (рис.7). Квазистационарный солнечный ветер (медленные потоки из корональных стримеров и быстрые потоки из корональных дыр) обычно не содержит длительных интервалов южной компоненты, так как поле в основном лежит в плоскости эклиптики. Однако иногда в солнечном ветре распространяются крупномасштабные возмущения, такие как межпланетные ударные волны, магнитные облака, области сжатия на границе разноскоростных течений и некоторые другие. Они различаются значениями ряда парамет-

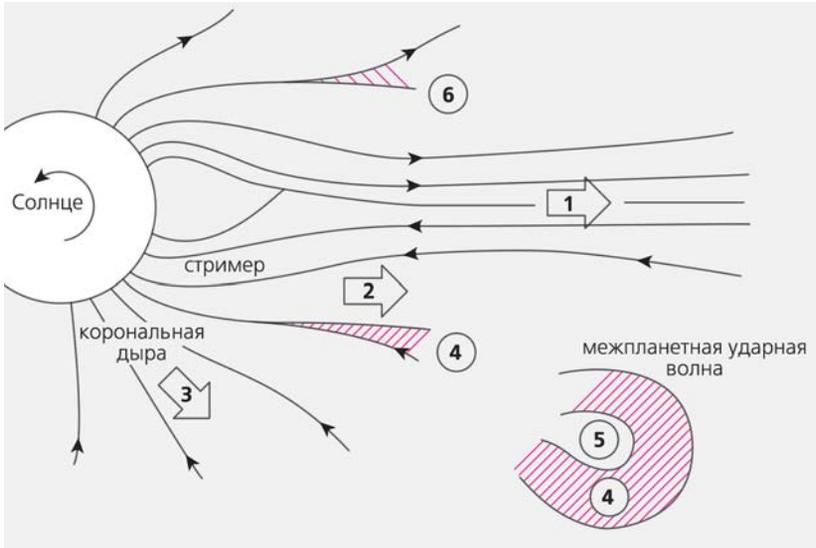


Рис.7. Схематическое изображение основных крупномасштабных типов течений солнечного ветра: гелиосферный ток (1), медленный поток из корональных стримеров (2), быстрый поток из корональных дыр (3), область сжатия (4), выброс корональной массы (5) и область разрезания (6). Линиями со стрелками показаны силовые линии межпланетного магнитного поля.

ров (скорости, температуры, концентрации, соотношения теплового и магнитного давлений, содержания гелия и др.), но объединяет их присутствие заметной южной компоненты B_z . Это может привести к накачке

магнитосферы энергией и возбуждению магнитосферных возмущений. Как показывает статистический анализ (рис.8), наибольшее число магнитных бурь (около 2/3) порождается двумя типами солнечного ветра:

магнитными облаками и областями сжатия в области разноразностных потоков, причем если последние почти равномерно возбуждают и сильные, и умеренные бури, то первые вызывают сильные бури в два раза чаще, чем умеренные. Хотя общая доля возбуждаемых обоими типами бурь практически не изменяется в 11-летнем цикле солнечной активности, доля бурь от каждого из этих типов имеет по два максимума за цикл, и они меняются в противофазе. Отметим, что в среднем за 25 лет (1976–2000) наблюдалось 25 бурь в год, причем в годы солнечного минимума магнитные бури могли отсутствовать по несколько месяцев, а в годы вблизи максимума наблюдаться практически каждую неделю.

Одним из первых космических катаклизмов, наблюдаемых в солнечном ветре с помощью космических аппаратов, была серия вспышек и межпланетных возмущения в августе 1972 г. Тогда на спаде 20-го цикла солнечной активности (за нулевой принят цикл с максимумом в 1750 г.) за короткий период со 2 по 7 августа наблюдались четыре очень сильные солнечные

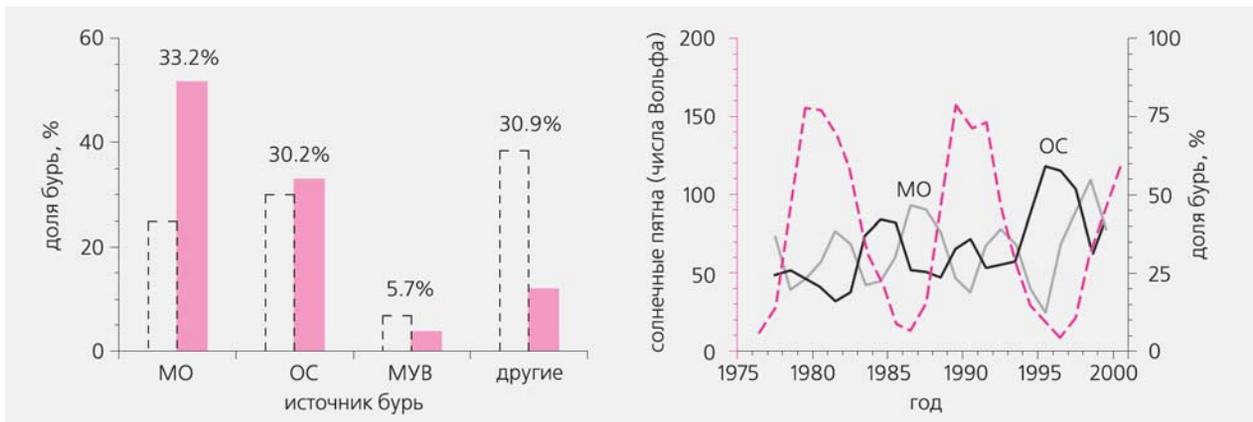


Рис.8. Доля магнитных бурь, вызываемых солнечным ветром различных типов за период 1976–2000 гг.: магнитными облаками (МО), областями сжатия в районе взаимодействия разноразностных течений (ОС), межпланетными ударными волнами (МУВ) и остальными (слева). Штриховые прямоугольники — для умеренных магнитных бурь ($-100 < Dst < -60$ нТ), цветные прямоугольники — для сильных магнитных бурь ($Dst < -100$ нТ); указаны суммарные цифры для всех магнитных бурь. Сглаженные кривые, показывающие изменение по годам доли магнитных бурь, возбуждаемых магнитными облаками (серая кривая) и областями сжатия в районе взаимодействия разноразностных потоков (справа). Штриховая линия показывает изменение числа солнечных пятен в цикле солнечной активности.

вспышки (оптического класса 2В и 3В; сигнал в рентгеновском диапазоне волн в то время не мог быть измерен, так как рентгеновских телескопов не было за пределами земной атмосферы), и к Земле пришли три сильные межпланетные ударные волны. Впервые наблюдалось такое сильно возмущенное событие, которое удалось достаточно подробно документировать, — благодаря тому, что на орбите были спутники «Прогноз-1 и -2», а также «NEOS-2» и «Pioneer-9». После первой вспышки пришла ударная волна, за которой скорость солнечного ветра составила около 2000 км/с (при средней скорости ветра 400 км/с), а концентрация около 30 см^{-3} (при среднем значении 8 см^{-3}). Благодаря удачному расположению космических аппаратов были оценены форма ударной волны, а также поток энергии ($100 \text{ эрг/см}^2\cdot\text{с}$), выброшенная масса ($\sim 10^{17} \text{ г}$) и энергия ($\sim 10^{33} \text{ эрг}$). К счастью для Земли, эти сильные солнечные и межпланетные возмущения привели к серии хотя и серьезных, но не катастрофических магнитных бурь на Земле (величина *Dst*-

индекса достигала от -115 до -154 нТ). Заметим, что число магнитных бурь с *Dst* менее -100 нТ за 25 лет с 1976 по 2000 г. составило около 200, т.е. величина магнитных бурь в августе 1972 г. была вполне обычной при том, что условия на Солнце и в межпланетной среде были экстремальными.

Экстремальные условия на Солнце и в солнечном ветре также наблюдались на фазе спада текущего 23-го цикла солнечной активности в октябре—ноябре 2003 г. [10,11]. Как хорошо видно на рис.9, солнечная активность началась 19 октября с вспышки балла X1.1 в активной области (АО) 10484 в Северном полушарии. За 16 суток в ней и еще в двух активных областях (в Южном полушарии — АО 10486 и в Северном — АО 10488) осуществилось 16 больших вспышек, 11 из которых имели рентгеновский балл X, при этом основная вспышечная активность пришлась на самую большую по площади группу пятен АО 10486. После того, как АО 10486 ушла с видимой полусферы Солнца, вспышечная активность в течение почти

двух недель была сравнительно низкой. Когда данные активные области под номерами 10501 (на предыдущем обороте Солнца — 10484), 10507 (10488) и 10508 (10486) вернулись на видимую сторону Солнца, наиболее активной стала АО 10501, и почти все значительные вспышки были произведены ею, но все три АО стали меньше по площади, менее сложными и активными, чем в предыдущий раз. Надо отметить, что за все время наблюдений количество очень сильных бурь было довольно мало: с 1957 по начало 2003 г. произошло всего три магнитные бури с *Dst* $< -400 \text{ нТ}$ (11 февраля 1958 г. -426 , 15 июля 1959 г. -429 и 13 марта 1989 г. -589 нТ). Поэтому две сильнейшие бури в октябре—ноябре 2003 г. (30 октября -401 и 20 ноября -472 нТ) существенно расширяют экспериментальный материал по таким экстремальным возмущениям магнитосферы Земли.

Анализ солнечных и геомагнитных данных типа представленных на рис.9 показывает очень низкую корреляцию между ними: большинство солнеч-

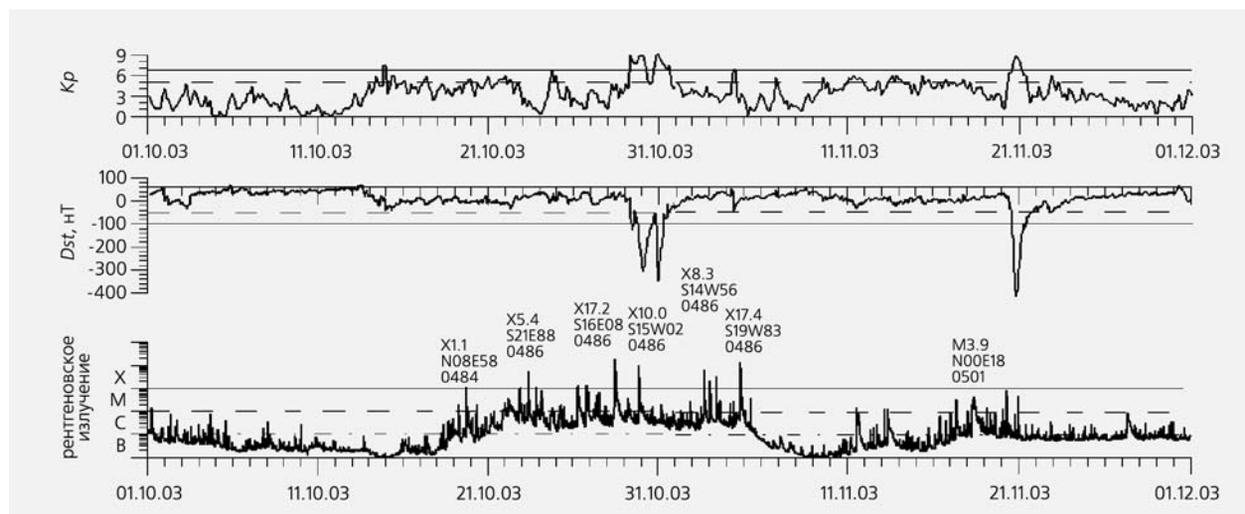


Рис.9. Результаты наземных измерений магнитного поля и наблюдений Солнца в октябре—ноябре 2003 г. *Kp*- и *Dst*-индексы (вверху и в середине; штриховые и сплошные линии указывают границы умеренных и сильных магнитных бурь). Рентгеновское излучение по измерениям спутника «GOES-12» (внизу; буквы и различными линиями показаны классы вспышек X, M, C, B). Для некоторых вспышек показаны рентгеновский класс вспышки, положение (S — Южное, N — Северное, E — Восточное, W — Западное полушарие, градусы) и номер активной области по классификации NOAA.

ных вспышек к появлению магнитных бурь не приводит, хотя практически после каждой вспышки СМИ начинают наперегонки давать прогнозы о неизбежной через пару дней буре. Возникает естественный вопрос — почему низка эта корреляция? Как отмечалось выше, для возбуждения прогнозируемой магнитной бури необходимо выполнение нескольких условий: прежде всего, должен возникнуть детектируемый источник на Солнце (реально мы можем заметить только появление корональных дыр и выброса корональной массы); из этого источника должно образоваться магнитное облако или область сжатия в солнечном ветре; они должны содержать длительную и большую компоненту южного межпланетного магнитного поля; наконец, они должны иметь такую траекторию, чтобы оказаться вблизи магнитосферы Земли и вступить во взаимодействие с ней.

Каждое из этих условий носит вероятностный характер. Полная вероятность правильно предсказать магнитную бурю после замеченной вспышки получается как произведение трех вероятностей и поэтому оказывается достаточно малой. Сопоставление солнечных явлений с возникновением магнитных бурь (см. рис.10, составленный по большому количеству опубликованных работ [8]) показывает, что такой двухсуточный прогноз на основе наблюдений выбросов корональной массы имеет эффективность около 30–40%, т.е. только три-четыре предсказания из 10 реализуются в действительности, а шесть-семь оказываются ложными. Все опубликованные данные о высокой корреляции были получены для обратной «трассировки» событий от Земли к Солнцу, т.е. в попытках найти на беспокойном Солнце причины для достаточно редких магнитных бурь. Складывается парадоксальная ситуация, при которой современная наука

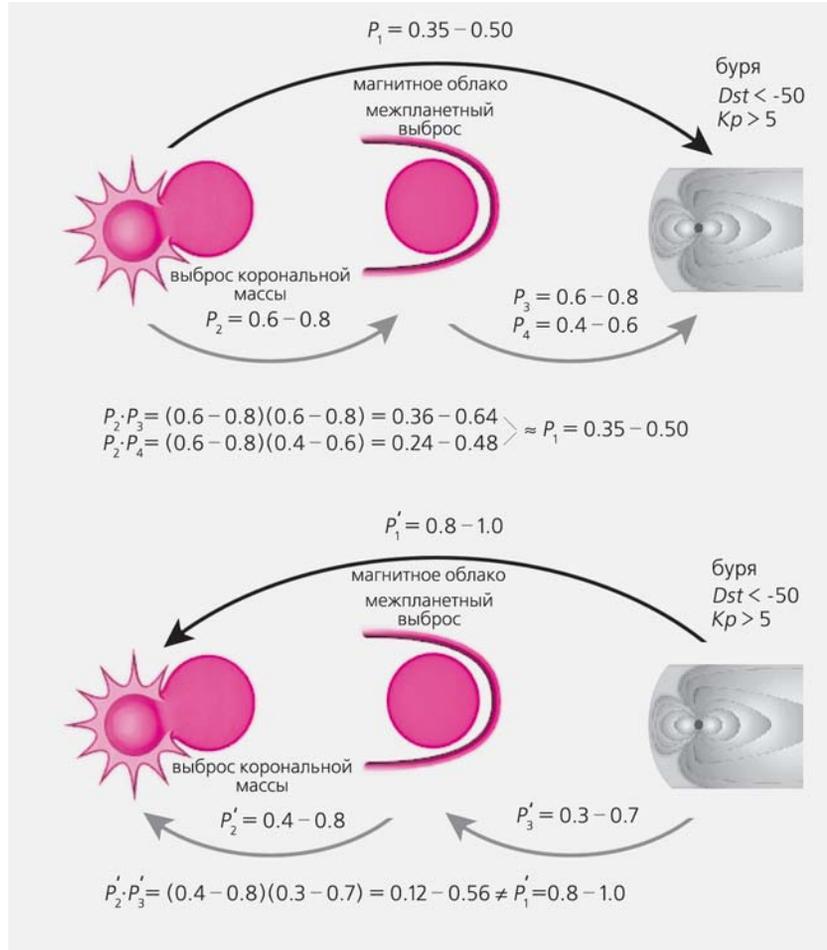


Рис.10. Обобщение опубликованных работ по корреляции выбросов корональной массы, магнитных облаков и геомагнитных бурь для одношаговой (верхняя стрелка) и двухшаговой (нижние стрелки) и для прямой (вверху, стрелки справа налево) и обратной (внизу, стрелки слева направо) трассировок данных. Над стрелками приведены вероятности событий. Для случая прямой последовательности событий: P_1 — вероятность того, что за выбросом корональной массы последует магнитная буря, P_2 — что этот выброс породит магнитное облако или межпланетный выброс, P_3 (P_4) — что магнитное облако (межпланетный выброс) приведет к магнитной буре. Когда события рассматриваются в обратном порядке (ищутся их источники): P'_1 — вероятность того, что магнитной буре удастся сопоставить произошедший ранее корональный выброс, P'_3 — что перед бурей наблюдалось магнитное облако или межпланетный выброс, P'_2 — что этим явлениям предшествовал корональный выброс.

в ретроспективном плане может успешно объяснить происхождение почти всех сильных геомагнитных возмущений, но не может с достаточной степенью достоверности предсказать их возникновение на основе наблюдений Солнца. Чтобы повысить надежность прогноза, тре-

буется дальнейший анализ солнечных данных и выявление подходящих для прогнозирования характеристик.

В отличие от прогноза на основе наблюдений Солнца, измерения параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля в окрестности Земли

с помощью космических аппаратов позволяют с высокой степенью точности рассчитать количество энергии, поступившей в магнитосферу, и ее реакцию на внешние условия, и такой прогноз достигает 99-процентной надежности [5–7]. Проблема заключается в том, что даже при разнице в скорости распространения в 1000 раз между солнечным ветром и радиосигналом, передающим данные на Землю, из-за близости спутника к Земле мы получаем информацию недостаточно заблаговременно. В последнее десятилетие космические аппараты «WIND», «SOHO» и «ACE» работают в так называемой точке либрации (лагранжева точка L1), расположенной в 1.5 млн км от Земли на линии Солнце—Земля (рис.11). В этой точке силы притяжения Солнца и Земли уравниваются друг друга, и хотя равновесие

неустойчиво, аппараты могут долго находиться в ее окрестности при сравнительно небольшом расходе топлива на коррекцию орбиты. Нетрудно вычислить, что при средней скорости солнечного ветра 400 км/с он достигнет Земли из точки L1 приблизительно за 1 ч, а возмущенные потоки — еще быстрее. Этого времени явно недостаточно, чтобы успеть принять какие-нибудь меры после поступления сигнала, поэтому такой сигнал может быть использован только как сигнал тревоги к реализации заранее подготовленных мер. Тем не менее ситуацию можно заметно улучшить, если разместить космический аппарат ближе к Солнцу, чтобы иметь бóльшую величину задержки. На первый взгляд, такое желание входит в противоречие с законами небесной механики, так как аппа-

рат трудно будет удерживать на месте, однако в ИКИ был разработан космический проект, в котором эта трудность преодолевается с помощью солнечного паруса. Давление фотонов солнечного света на парус частично компенсирует силу притяжения Солнца, и космический аппарат попадает как бы в либрационную точку для Солнца с меньшей силой тяготения. Расчеты показывают, что при размере паруса приблизительно 30×30 м космический аппарат весом 30 кг может быть удален от Земли до расстояния 3 млн км. В этом случае прогноз мы получим за в два раза больший промежуток времени при достаточно высокой его точности и надежности (не хуже 90%). Таким образом, предложенный проект может существенно улучшить оперативность и качество прогноза космической погоды.

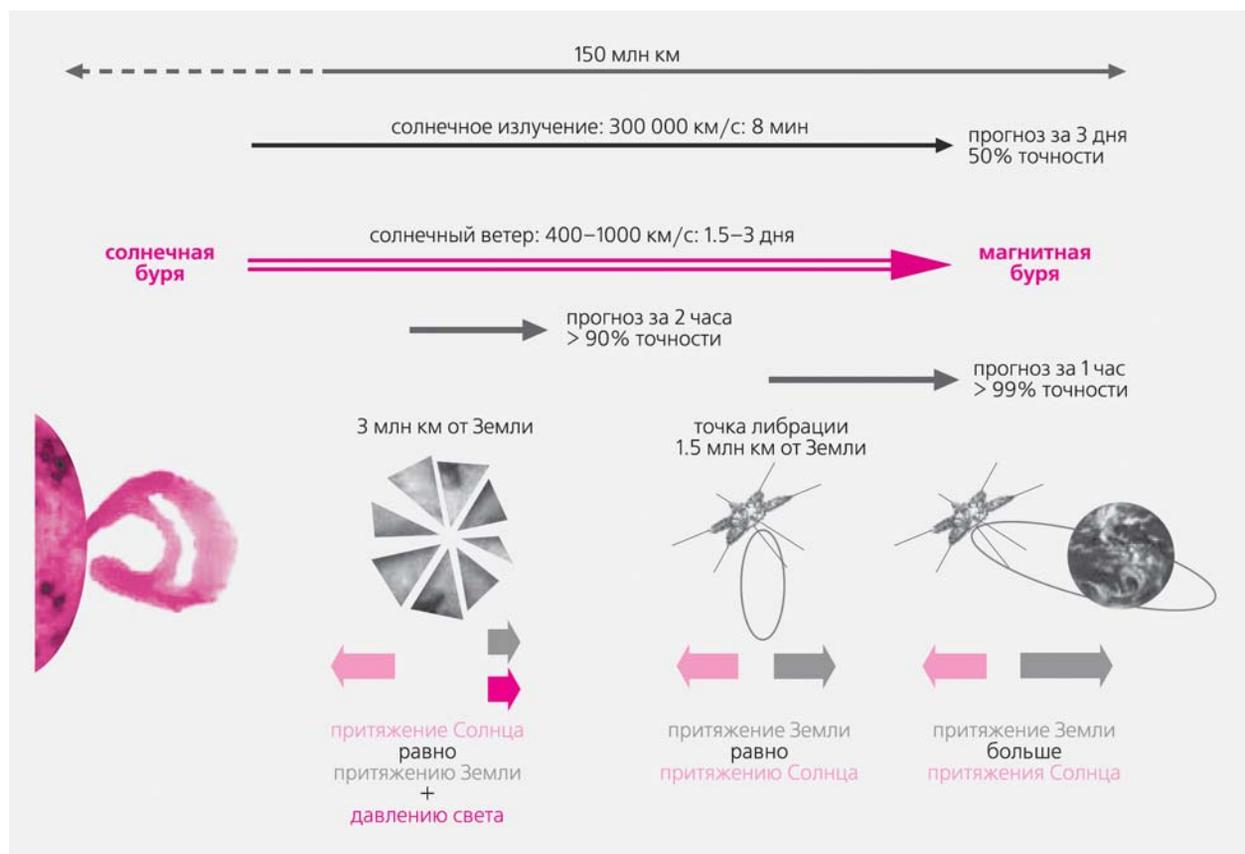


Рис.11. Схема построения прогноза геомагнитной активности на космическом аппарате в либрационной точке и на космическом аппарате с солнечным парусом.

* * *

Итак, геомагнитные возмущения — достаточно распространенные и обыденные явления на Земле. Мы не останавливались здесь на вопросах их влияния на биологические объекты и человека*, отметим только, что в процессе эволюции все живое нау-

* Об этом см. [4], а также статью Т.К.Бреус и С.И.Рапопорта в данном номере.

чилось адаптироваться к изменениям параметров окружающей среды, и на фоне вариаций атмосферного давления и температуры магнитное поле — не самый значащий фактор, влияющий на самочувствие людей. Поэтому геомагнитные бури практически безобидны для подавляющего большинства и могут негативно сказаться исключительно на больных и ослабленных людях. Однако ориентироваться

в этом вопросе следует не на сообщения СМИ, а на рекомендации специалистов и врачей, которые могут оценить реальные угрозы, следующие из прогнозов космической погоды. Что же касается ее влияния на мир техники, оно достаточно хорошо известно, и современная наука учится более точно и своевременно предсказывать опасность и разрабатывает меры, уменьшающие негативные последствия. ■

Литература

1. *Чижевский А.Л.* Земное эхо солнечных бурь. М., 1973.
2. *Хундхаузен А.* Расширение короны и солнечный ветер. М., 1976.
3. Физика космоса. Маленькая энциклопедия. М., 1986.
4. *Бреус Т.К., Рапопорт С.И.*, Магнитные бури: Медико-биологические и геофизические аспекты. М., 2003.
5. *Акасофу С.И., Чепмен С.* Солнечно-земная физика: В 2-х т. М., 1975.
6. *Пудовкин М.И., Семенов В.С.* Теория пересоединения и взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой Земли. М., 1985.
7. *Петрукович А.А., Климов С.И.* // Космические исследования. 2000. Т. 38. № 5. С.463—469.
8. *Ермолаев Ю.И., Ермолаев М.Ю.* // Космические исследования. 2003. №6. С. 573—584.
9. *Зеленый Л.М., Милованов А.В.* // Успехи физических наук. 2004. №8. С.809—852.
10. *Веселовский И.С., Панасюк М.И., Авдюшин С.И. и др.* // Космические исследования. 2004. №5. С.453—508.
11. *Ермолаев Ю.И., Зеленый Л.М., Застенкер Г.Н. и др.* // Геомагнетизм и аэрономия. 2005. №1. С.23—50.

Рентгеновские маяки Вселенной



Астрофизика высоких энергий

М.Н.Павлинский, А.А.Вихлинин, М.Г.Ревнивцев, В.А.Арефьев

Хорошо известно, что атмосфера Земли прозрачна для электромагнитного излучения в радио- и оптическом диапазонах, а для излучения других длин волн — нет; это в принципе и сделало возможной жизнь на Земле. Со времен древних цивилизаций Египта, Греции и Китая и до недавних дней человек изучал звездное небо исключительно глазами, правда, с некоторых пор вооруженными оптическими приборами. С середины XX в. стала бурно развиваться радиоастрономия, а с появлением ракет и спутников начался бум гамма-, рентгеновской, ультрафиолетовой, инфракрасной и микроволновой (охватывающей миллиметровый и субмиллиметровый интервалы длин волн) астрономии.

Сегодня мировое научное сообщество вкладывает гигантские средства во все новые и новые проекты по исследованию Вселенной. Только за последние пять лет на орбиту была выведена целая флотилия крупных астрофизических спутников, таких как «Chandra» (НАСА, 1999) и «ХММ-Newton» (ЕКА, 1999), предназначенные для изучения неба в рентгеновском диапазоне длин волн с беспрецедентными чувствительностью, спектральным и угловым разрешениями; обсерватория гамма-лучей «Интеграл» (ЕКА, Роскосмос, 2002); рентгеновская и гамма-миссия для изучения гамма-



Михаил Николаевич Павлинский, доктор физико-математических наук, зам. директора ИКИ РАН по научной работе. Область научных интересов — рентгеновская астрономия, научное космическое приборостроение. Принимал активное участие в проекте «Гранат», сейчас — один из руководителей подготовки новой астрофизической миссии «Спектр—Рентген—Гамма».



Алексей Александрович Вихлинин, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела астрофизики высоких энергий того же института. Лауреат Государственной премии РФ для молодых ученых (2003). Специалист в области наблюдательной космологии.



Михаил Геннадьевич Ревнивцев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же отдела. Научные интересы связаны с исследованием аккреции на релятивистские объекты.



Вадим Александрович Арефьев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же отдела. Занимается экспериментальным изучением рентгеновских двойных звезд.

© Павлинский М.Н., Вихлинин А.А., Ревнивцев М.Г., Арефьев В.А., 2005

всплесков «Swift» (НАСА, 2004). В этом году к ним присоединился японский спутник «Astro-E2» с зеркальным рентгеновским телескопом, в фокальной плоскости которого установлен первый рентгеновский болометр (он обеспечит рекордное энергетическое разрешение $\Delta E/E \approx 0.001$); в 2007 г. США планируют запустить спутник «Glast» для наблюдений астрофизических объектов в жестких гамма-лучах.

У колыбели энергичных фотонов

Под астрофизикой высоких энергий обычно подразумевают рентгеновскую и гамма-астрономию. Самые различные физические процессы, происходящие в космосе, сопровождаются генерацией большого числа высокоэнергичных фотонов. Рентгеновское и гамма-излучение с энергиями от долей кэВ (1 кэВ соответствует $\lambda \approx 1.2$ нм) до десятков МэВ может генерироваться в ходе процессов трех основных типов — тепловых, т.е. веществом, разогретым до $\sim 10^7$ — 10^{10} К (для сравнения: температура фотосферы самых горячих звезд на несколько порядков ниже), нетепловых (например, при движении релятивистских электронов в сильном магнитном поле возникает синхротронное излучение) и ядерных.

Если генерация рентгеновского и гамма-излучений в двух последних случаях может быть детально изучена на Земле, то разогреть вещество до миллиардов градусов и сохранить его при этой температуре в течение длительного времени в лабораторных условиях невозможно. Только космические объекты — природные лаборатории, в которых реализуются такие экстремальные условия, — позволяют проводить подобные исследования. В порядке увеличения размеров это черные дыры, нейтронные звезды и белые кар-

лики в составе тесных двойных систем в нашей Галактике, активные ядра галактик (сверхмассивные черные дыры) и горячий газ в галактиках и скоплениях галактик.

Интереснейшие объекты — черные дыры и нейтронные звезды. Они образуются в конце длительной эволюции массивных звезд в результате гравитационного коллапса центральной части звезды — взрыва сверхновой. Если масса сколлапсировавшего остатка меньше, чем $\sim 3 M_{\odot}$, то возникает нейтронная звезда — необычайно плотный (с плотностью $\sim 10^{14}$ г/см³, что сравнимо с плотностью в атомных ядрах), компактный (радиусом ~ 10 км) и быстровращающийся объект с сильным магнитным полем, состоящий в основном из нейтронов. Если же эта масса больше, то, как предсказывает общая теория относительности, образуется черная дыра. У черной дыры нет жесткой поверхности, ее размер характеризуется так называемым *гравитационным радиусом* — границей, за которую из внутренней области ничто не может выйти. В пространстве эта внутренняя область ограничена поверхностью, именуемой *горизонтом событий*. Черные дыры и нейтронные звезды часто называют релятивистскими, или компактными, объектами.

Одиночные нейтронные звезды, как правило, являются слабыми источниками электромагнитного излучения, а одиночная черная дыра сама по себе вообще ничего не излучает (небольшое излучение может сопровождать поглощение дырой окружающего газа). Однако если черная дыра или нейтронная звезда имеют возможность притягивать к себе вещество, например, находясь в двойной системе с нормальной звездой, ситуация резко меняется. Уже в первых ракетных экспериментах в 60-е годы было обнаружено рентгеновское излучение ярчайшей нейтронной звезды

в нашей Галактике (Скорпион X-1 — он оказался в 100000 раз ярче, чем Солнце) — компонента двойной системы. За следующие 40 лет было открыто несколько сотен ярких рентгеновских источников, большинство из которых входит в двойные системы.

Дело в том, что за исключением аннигиляции вещества и антивещества, наиболее эффективным механизмом выделения энергии служит *аккреция* — падение вещества в сильном гравитационном поле компактного объекта. Когда черная дыра или нейтронная звезда захватывает достаточное количество газа, потерянного обычной звездой-компаньоном, двойная система может стать мощнейшим источником рентгеновского излучения. В тесных двойных системах реализуется специфический режим аккреции — *дисковая аккреция*. Газ, перетекающий с нормальной звезды, имеет большой угловой момент. В результате образуется аккреционный диск, вещество в котором быстро вращается по почти круговым орбитам и медленно дрейфует в сторону компактного объекта. Дрейф сопровождается нагревом вещества, и при приближении к компактному объекту температура газа становится настолько высока, что он начинает излучать в рентгеновском диапазоне. Механизм дисковой аккреции был предложен для объяснения природы рентгеновских источников советскими астрофизиками Н.И.Шакурой и Р.А.Сюняевым в 70-е годы XX в. [1]. Этот механизм действует не только в тесных двойных системах, но и в активных ядрах галактик, где центральная сверхмассивная черная дыра (массой 10^6 — $10^7 M_{\odot}$) поглощает межзвездный газ и даже отдельные звезды.

Наблюдения показали, что иногда черные дыры излучают значительную часть энергии в жестких рентгеновских лучах (энергия фотонов больше 10—100 кэВ). Фотоны с подобной

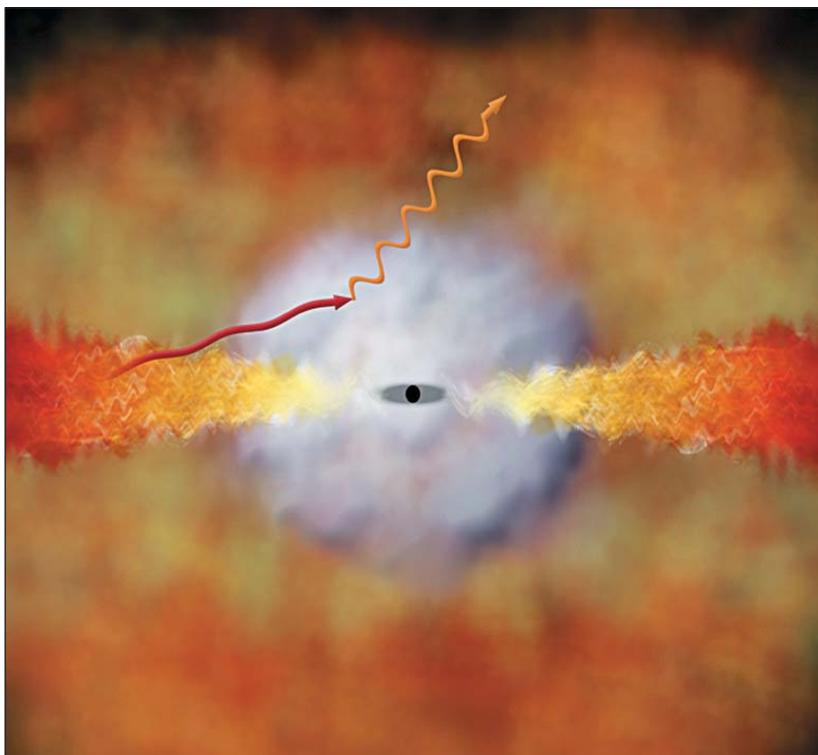


Рис. 1. Схематическое изображение аккреционного потока вокруг черной дыры с малым темпом аккреции вещества. Оптически толстый аккреционный диск подходит к черной дыре справа и слева, но не продолжается до ее горизонта событий (черный кружок в центре), а превращается в оптически тонкую горячую корону (показана серым). Фотон, выходящий из аккреционного диска (изображен красной стрелкой), рассеивается в горячей короне на электронах и приобретает большую энергию.

формой спектра не могут возникнуть в результате самого излучения аккреционного диска. В теоретических работах, выполненных в 80-е годы [2], было показано: вероятнее всего, излучение на больших частотах есть следствие перекачки энергии от высокоэнергичных (горячих) электронов к фотонам (так называемая комптонизация фотонов). В настоящее время наиболее популярна комбинированная двухзонная модель аккреционного потока: аккреционный диск вблизи компактного объекта испаряется, образуя горячую корону, в которой происходит комптонизация рентгеновских фотонов (рис. 1).

Основная доля энергии, выделяющейся при аккреции, должна излучаться вблизи ком-

пактного объекта, причем, как показывают расчеты, преимущественно в рентгеновском диапазоне энергий. Именно поэтому рентгеновское излучение является самым эффективным инструментом для исследований компактных объектов. Форма спектра фотонов весьма чувствительна как к параметрам компактных объектов, так и к параметрам аккреционного диска и области, содержащей высокоэнергичные электроны. Например, если в качестве компактного объекта выступает нейтронная звезда с сильным магнитным полем напряженностью 10^{12} – 10^{14} Гс (для примера, напряженность магнитного поля Солнца не превышает ~ 1 Гс), то рентгеновское излучение будет сильно промодулиро-

вано во времени, и двойная система будет выглядеть как рентгеновский пульсар. Высокая переменность рентгеновского излучения компактных объектов — их отличительная черта. Причем эта переменность проявляется на всех временных масштабах — от микросекунд до десятков лет (времени существования рентгеновской астрономии), а амплитуда изменения интенсивности может достигать шести-семи порядков по величине. Сам характер переменности рентгеновского излучения может быть различным в зависимости от светимости объекта.

На страже переменного блеска

В 90-е годы российские астрофизические обсерватории — рентгеновский модуль «Квант» орбитальной станции «Мир» и астрофизический спутник «Гранат», в создании и эксплуатации которых принимали участие сотрудники ИКИ, — были лидерами отечественной экспериментальной астрофизики. Они позволили не только открыть несколько десятков рентгеновских источников в нашей Галактике, в том числе кандидатов в черные дыры, но и исследовать их спектры в широком — три порядка по энергиям (!) — энергетическом диапазоне.

Регистрация излучения сильно переменных источников, спектры которых простираются на несколько порядков величин по энергиям — от долей кэВ до сотен кэВ — весьма сложная задача. Дело в том, что на такой диапазон энергий приходится несколько способов взаимодействия рентгеновских фотонов с веществом. При малых энергиях преобладает фотоэффект, при энергиях выше нескольких десятков кэВ доминирует комптоновское рассеяние, а при энергии фотона около МэВ начинается образование электрон-позитронных пар. Для регистрации

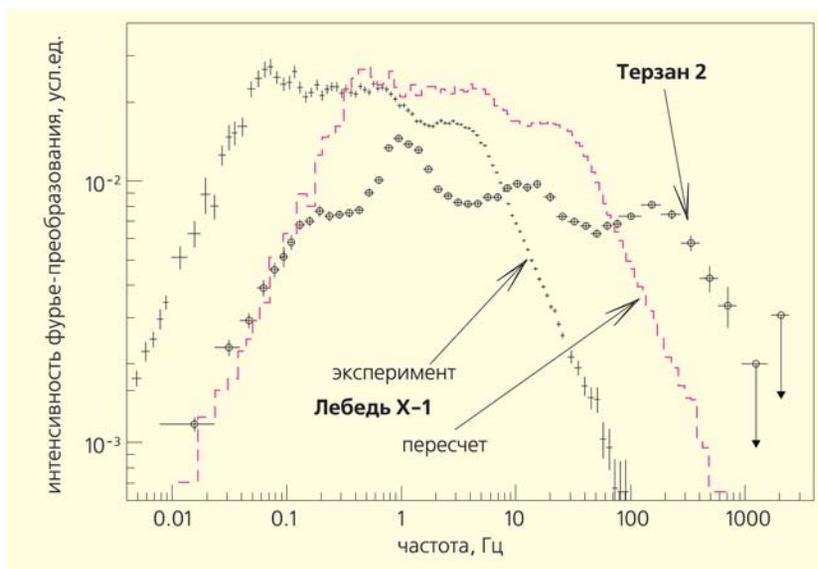


Рис.2. Спектры мощности типичной аккрецирующей черной дыры (Лебедь X-1) и нейтронной звезды (Терзан 2). Кривая для нейтронной звезды спадает при более высоких частотах, даже если учесть разницу в массах компактных объектов (цветная кривая для черной дыры пересчитана с учетом этой разницы) [3]. Это говорит о том, что нейтронная звезда гораздо более переменна на высоких частотах.

спектра рентгеновского источника в широком энергетическом диапазоне требуется работа нескольких различных детекторов одновременно, что далеко не всегда возможно. Рентгеновское излучение не удастся сфокусировать, как это делается в оптике. Только для мягкого рентгеновского диапазона (энергии фотонов меньше ~ 10 кэВ) можно использовать *телескопы косо́го падения* — аналог обычных оптических телескопов. В телескопах косо́го падения рентгеновские кванты отражаются под малым углом в фокус телескопа металлическим (обычно позолоченным) зеркалом, имеющим форму сопряженного параболоида — гиперboloида вращения. Это позволяет получить реальное изображение участка неба в рентгеновском диапазоне и наблюдать не только точечные, но и протяженные объекты, например скопления галактик. Наилучшее угловое разрешение достигнуто таким способом у рентгеновского теле-

скопа на спутнике «Chandra» и составляет $\sim 0.5''$, что уже сравнимо с разрешением наземных оптических телескопов. Чтобы построить изображение в более жестком диапазоне, применяется *метод кодирующей апертуры*. В этом методе перед детектором помещают экран из прозрачных и непрозрачных для рентгеновского излучения элементов. Непрозрачные элементы отбрасывают тень на детектор, и по положению освещенных и затененных участков детектора можно восстановить положение источника на небе. Метод позволяет реконструировать изображение, даже если в поле зрения телескопа находится несколько точечных источников. Обычно угловое разрешение таких телескопов порядка угловой минуты дуги.

На сегодняшний день одна из наиболее интересных задач — это доказать, что черные дыры действительно существуют. Пока твердо установлены только признаки, по которым можно определить, что компактный

объект в двойной системе НЕ является черной дырой. Если масса компактного объекта меньше $2-3 M_{\odot}$, то это нейтронная звезда или белый карлик. Если компактный объект проявляет себя как рентгеновский пульсар либо от него регистрируются непериодические рентгеновские всплески, вызванные термоядерным горением аккрецировавшего вещества, то это нейтронная звезда. Даже если масса компактного объекта заведомо больше максимально возможной массы нейтронной звезды, то и в этом случае нельзя со 100-процентной уверенностью утверждать, что наблюдаемый объект — черная дыра, так как нужно установить наличие горизонта событий в данном объекте. Поэтому, строго говоря, до сих пор обнаружены только *кандидаты в черные дыры*, но не сами черные дыры. Доказать существование черных дыр — значит получить наиболее серьезное подтверждение общей теории относительности. Один из возможных путей решения этой задачи — исследовать переменность рентгеновского излучения на высоких частотах. Оказывается, что, в отличие от нейтронных звезд, кандидаты в черные дыры практически «не шумят» на частотах, превышающих частоту обращения вещества на внутренних орбитах аккреционного диска вокруг черных дыр, т.е. на временных масштабах менее чем ~ 10 мс [3]. Амплитуда переменности в спектрах мощностей нейтронных звезд (Фурье-образы рентгеновской кривой блеска) на частотах выше нескольких сотен герц на порядок выше, чем у канонического кандидата в черные дыры Лебедь X-1 (рис.2). Это объясняется вкладом рентгеновского излучения, генерируемого на поверхности нейтронной звезды. Отсутствие такой компоненты в спектре мощностей черной дыры говорит об отсутствии такой поверхности, а следовательно, служит косвенным подтверждением наличия горизонта событий.

От аннигиляции до гамма-всплесков

Если энергия фотона превышает несколько десятков кэВ, его принято называть гамма-квантом. С 2002 г. сотрудники ИКИ РАН активно участвуют в работе обсерватории гамма-лучей «Интеграл», телескопы которой почти на порядок чувствительнее телескопов обсерватории «Гранат». Как и на «Гранате», в приборах обсерватории «Интеграл» для получения изображений используется метод кодирующей апертуры. Высокое энергетическое разрешение спектрометра SPI обсерватории «Интеграл» позволяет эффективно регистрировать узкие эмиссионные линии на энергиях в сотни и тысячи кэВ. Линии служат уникальным источником информации о ядерных превращениях вещества в Галактике. Ярчайшей гамма-линией оказывается линия на энергии 511 кэВ, которая возникает при аннигиляции электрон-позитронных пар (рис.3).

Позитроны (антиэлектроны) представляют собой наиболее распространенную форму антивещества в Галактике. Целый ряд различных по своей природе процессов в астрофизических объектах может приводить к рождению позитронов. Наиболее важный из них — β -распад, при котором изотопы испускают позитроны. Для астрофизики естественным поставщиком позитронов выступает, например, распад радиоактивного изотопа алюминия Al^{26} со временем жизни около миллиона лет. Этот изотоп образуется как в звездах типа Вольфа—Райе*, так и при взрывах сверхновых; его количество характеризуется современным темп звездообразования в Галактике. Столкновение позитрона с электроном может привести к аннигиляции — исчезнове-

*Звезды типа Вольфа—Райе — горячие звезды очень высокой светимости с яркими и широкими спектральными линиями водорода, гелия, азота, углерода и кислорода.

нию обеих частиц и рождению вместо них двух или трех фотонов. Именно эти фотоны и способны зарегистрировать приборы «Интеграла».

Практически все процессы приводят к образованию «горячих» позитронов, т.е. частиц, кинетическая энергия которых сравнима или превышает их массу покоя. При таких энергиях вероятность процесса (или сечение) аннигиляции весьма мала, и позитроны, как правило, успевают потерять значительную часть своей энергии до того, как произойдет аннигиляция. Время между рождением и аннигиляцией позитрона может составлять миллионы лет, в течение которых позитрон постепенно дрейфует от места своего рождения до места исчезновения. Если вещество на пути позитрона достаточно холодное, то до аннигиляции позитрон захватывает электрон и образует так называемый «позитроний» — своего рода аналог атома водорода, в котором роль положительно заряженной частицы выполняет позитрон. Просуществовав недолгое время, позитроний аннигилирует, испуская жесткие гамма-лучи. По взаимной ориентации спинов частиц различают два типа позитрония — пара- и орто-позитроний. Аннигиляция пара-позитрония порождает два кванта с энергией 511 кэВ, тогда как орто-позитроний аннигилирует с образованием трех фотонов различных энергий, складывающихся для многих событий в непрерывный спектр. Спектрометр SPI способен регистрировать обе эти компоненты (рис.3) и определять соотношение между количеством орто- и пара-позитрония. Измерение параметров линии пара-позитрония позволяет сделать выводы о свойствах среды, в которой происходит аннигиляция.

Если исследование аннигиляции позитронов стало доступно только в последнее десятилетие, то загадка гамма-всплесков волновала исследователей более 40 лет. В середине 60-х го-

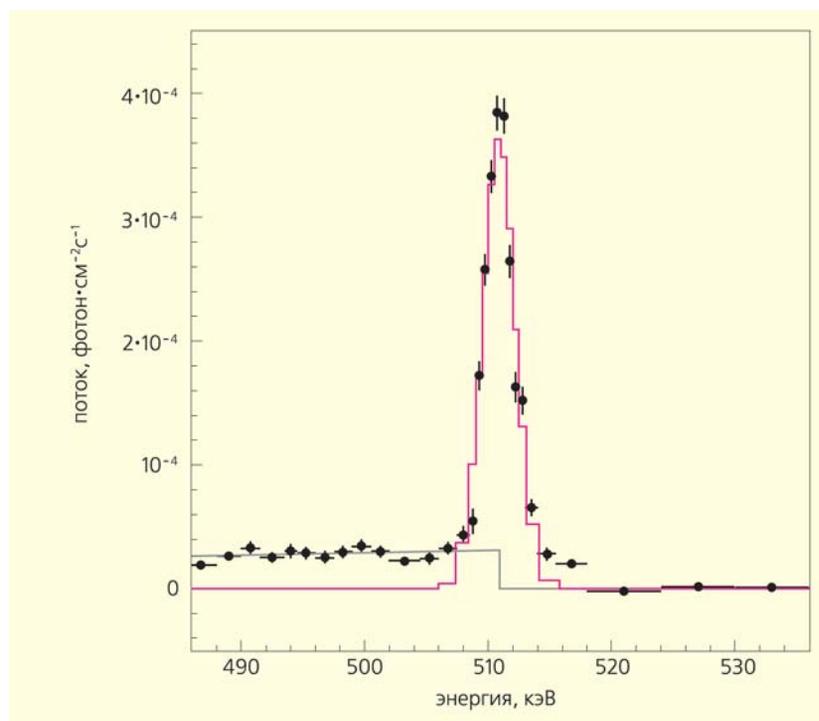


Рис.3. Спектр излучения из области центра Галактики в районе энергии 511 кэВ. Черной кривой показан вклад орто-позитронного континуума, цветной — линия от пара-позитрония [4].

дов американские спутники «Vela», предназначенные для наблюдения за ядерными взрывами на территории СССР, обнаружили яркие и короткие (от долей до десятков и сотен секунд) всплески гамма-излучения. Хотя по своему характеру эти всплески напоминали вспышки в момент ядерных взрывов, приходили они из космического пространства. Сразу же стало понятно, что в источниках гамма-всплесков должны реализовываться самые экстремальные состояния вещества и что они смогут послужить прекрасной лабораторией для исследования вещества в подобных состояниях.

Несмотря на большие усилия, природа космических гамма-всплесков долгое время оставалась неразгаданной. Только в конце 90-х годов было установлено, что источники всплесков расположены на космологических расстояниях, т.е. рассто-

яниях, сравнимых с размером наблюдаемой части Вселенной. Это стало возможно благодаря наблюдениям так называемых послесвечений гамма-всплесков. Оказалось, что после яркой, но короткой вспышки в гамма-диапазоне источник всплеска еще долго (на протяжении дней и более) излучает в других диапазонах спектра электромагнитного излучения — от рентгеновского до радио. В жестком рентгеновском диапазоне подобное послесвечение было впервые обнаружено по данным обсерватории «Гранат».

В настоящее время удается наблюдать послесвечения гамма-всплесков несколько раз в год. Этими наблюдениями заняты многие крупнейшие наземные и орбитальные обсерватории. Было установлено, что по крайней мере часть гамма-всплесков связана со взрывами сверхновых, точнее, с выбросом вещества и энергии вдоль оси

вращения сколлапсировавшего ядра массивной звезды.

В ИКИ наблюдения послесвечений гамма-всплесков проводятся на Российско-Турецком полутораметровом оптическом телескопе РТТ150, введенном в строй в середине 90-х годов при участии сотрудников ИКИ РАН. Он стал первым телескопом среднего класса, который был наведен на оптическое послесвечение всплеска 29 марта 2003 г. — одного из ближайших и ярчайших гамма-всплесков, зарегистрированных в последние несколько лет. В ходе наблюдений была наиболее точно измерена кривая блеска оптического послесвечения (рис.4). Впоследствии на месте источника этого гамма-всплеска была обнаружена сверхновая.

Почти все ранее регистрировавшиеся гамма-всплески, до которых удавалось измерить расстояние, произошли в далеких галактиках (при красных смещениях от 0.3 до 4) и характеризовались огромной энергией, меняющейся в достаточно узком для астрофизики интервале 10^{52} — 10^{54} эрг (в условиях изотропного распространения излучения). Высказывалось предположение, что полное энерговыделение всплеска есть величина универсальная. Однако ряд наблюдений «Интеграла» показывает, что такая простая картина, скорее всего, неверна.

3 декабря 2003 г. в 22 ч 01 мин 28 с Всемирного времени телескоп IBIS обсерватории «Интеграл» зарегистрировал гамма-всплеск GRB031203. Его положение на небе было определено с точностью 2.5', и эти сведения были распространены с помощью Интернета в рекордное время — через 18 с после начала всплеска, т.е. когда сам всплеск еще продолжался. Спустя несколько часов телескопы орбитальной обсерватории «XMM-Newton» засекли на месте GRB031203 затухающий рентгеновский источник, который впоследствии был зарегистрирован также наземными радио-

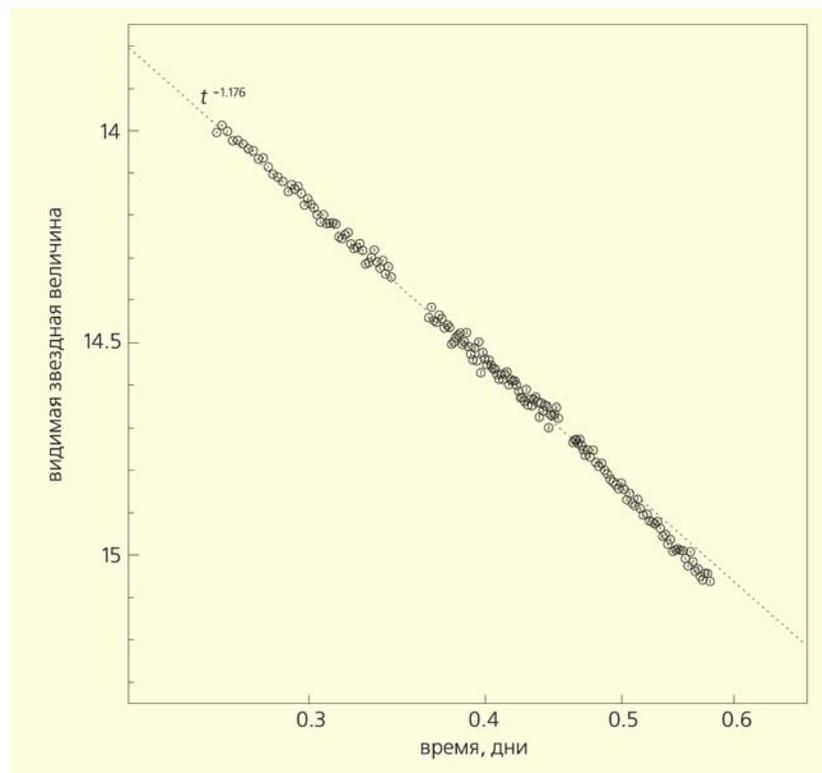


Рис.4. Исключительно яркое оптическое послесвечение гамма-всплеска GRB 030329 в первые несколько часов его затухания [5]. Данные наблюдения на телескопе РТТ150.

и оптическими телескопами. Дальнейшие наблюдения позволили обнаружить галактику с красным смещением 0.1055 (расстояние около 1300 млн световых лет), где произошел гамма-всплеск, а спустя несколько недель — и сверхновую, связанную со всплеском. Анализ данных обсерватории «Интеграл» показал, что временные и спектральные характеристики гамма-всплеска GRB031203 вполне обычны для объектов этого класса; в частности, основная энергия была выделена в виде гамма-фотонов с энергией более 200 кэВ. Однако полная энергия, выделившаяся при этом ($<10^{50}$ эрг в предположении изотропности излучения), оказалась в сотни раз меньше ожидаемой для обычного гамма-всплеска [6]. Данный результат опроверг господствовавшее последние пять лет представление о гамма-всплесках как о «стандартных свечах», имеющих примерно одну и ту же светимость. Теперь есть серьезные основания предполагать, что су-

ществует класс гамма-всплесков в сотни и тысячи раз слабее известных до сих пор. Эта новая популяция может оказаться весьма многочисленной, а не удавалось обнаружить ее до недавнего времени лишь из-за недостаточной чувствительности приборов.

Рентгеновская «археология»

Из-за аккреции окружающего газа и пыли мощнейшее внегалактическое рентгеновское излучение возникает вблизи активных ядер галактик — предположительно сверхмассивных черных дыр в их центрах. Собственно, современная теория не предлагает никаких других кандидатов на роль объектов со столь большой массой. Глубокие обзоры небольших участков неба в стандартном рентгеновском диапазоне (2–10 кэВ), проведенные обсерваториями «Chandra» и «XMM-Newton», зарегистриро-

вали значительное число таких источников в далеких галактиках, а обзор всего неба в мягком рентгеновском диапазоне (<2 кэВ) обсерватории ROSAT подтвердил, что и в близких галактиках наблюдается много сверхмассивных черных дыр. Однако рентгеновское излучение таких низких энергий легко поглощается пылью и газом, который окружает центральные части галактик, поэтому можно было ожидать, что на самом деле доля активных ядер намного выше. Так как в последнее время стало понятно, что наличие и активность сверхмассивных черных дыр в галактиках может оказывать значительное влияние на формирование и эволюцию звездного населения и межзвездного газа галактик, требовалось получить более точные оценки их числа. Был проведен новый обзор всего неба, сделанный на основе наблюдений обсерватории RXTE (рис.5) в более широком диапазоне энергий (3–20 кэВ) [7]. В итоге удалось обнаружить большое количество

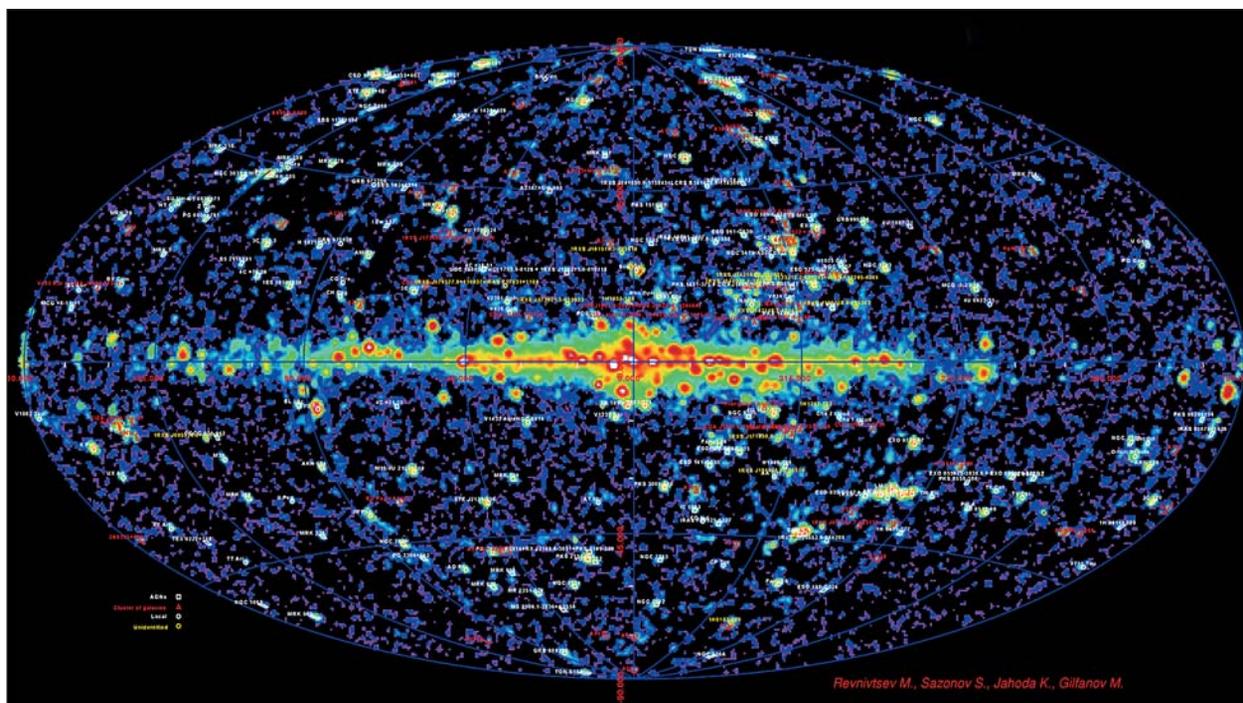


Рис.5. Обзор всего неба в диапазоне 3–20 кэВ обсерватории RXTE в 1996–1999 гг. Отмечен ряд известных источников [7].

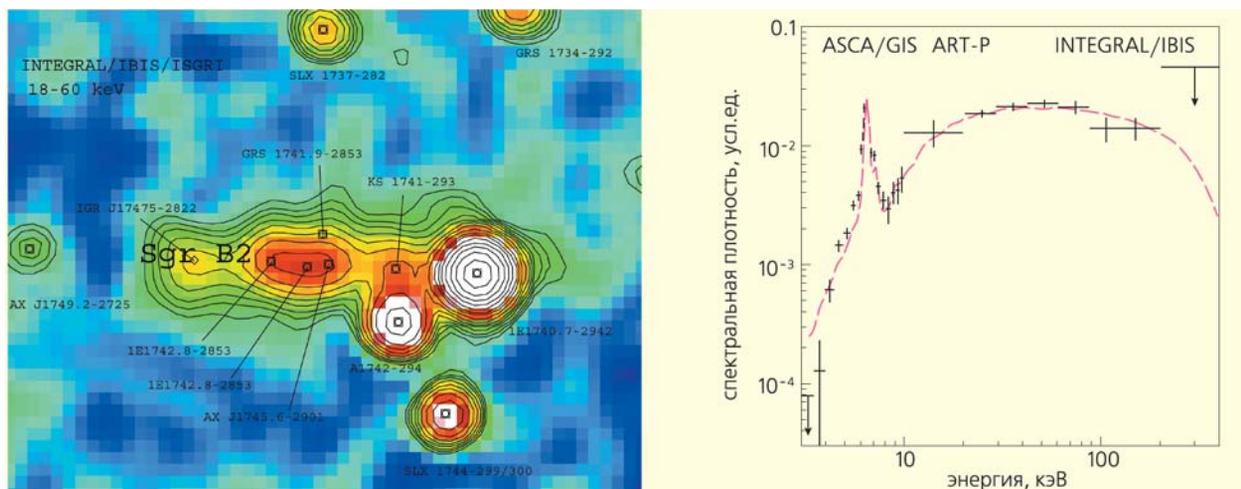


Рис.6. Изображение области Центра Галактики (слева). Показаны ярчайшие нейтронные звезды, черные дыры и положение молекулярного облака Sgr B2. Спектр излучения молекулярного облака Sgr B2 (справа). Крестики — экспериментальные данные, цветной штриховой кривой показаны результаты расчета для модели излучения молекулярного облака, облученного сверхмассивной черной дырой Sgr A* в центре нашей Галактики примерно 300 лет назад [9].

во активных ядер сейфертовских галактик второго типа* — с сильным внутренним поглощением, вызванным, вероятно, большим количеством пыли в галактике по ходу луча зрения, а также показать, что в слабых ядрах поглощение в среднем сильнее (больше пыли?), чем в ярких. Полученный результат позволяет точнее оценить энерговыделение в районах сверхмассивных черных дыр в локальной Вселенной.

А что же происходит с ядром нашей Галактики? Хотя из-за скопления газа и пыли центральная часть нашей Галактики недоступна наблюдениям оптических телескопов, исследования в инфракрасном диапазоне подтвердили, что в Центре нашей Галактики (Sgr A*) находится сверхмассивная черная дыра с массой более $10^6 M_{\odot}$. По аналогии с другими галактиками на этом месте можно было ожидать наличия сильного рентгеновского источника — активного ядра. Однако наблюдения, выполнен-

ные в 90-е годы обсерваторией «Гранат», показали, что на месте Sgr A* такого источника нет. Даже обычные рентгеновские двойные, в большом количестве расположенные вблизи Центра Галактики, оказались на три-четыре порядка более яркими, чем сверхмассивная черная дыра!

Чтобы разобраться с этим парадоксом, обсерватория «Интеграл» провела длительную серию наблюдений района Центра Галактики. Благодаря высокой чувствительности и хорошему угловому разрешению телескопа IBIS удалось зарегистрировать жесткое рентгеновское излучение от молекулярного облака Sgr B2 в области галактического центра. Природа этого рентгеновского излучения, также открытого более 10 лет назад «Гранатом» [8], стала предметом жарких дискуссий. Было показано, что наблюдаемое рентгеновское излучение могло быть испущено в прошлом сверхмассивной черной дырой Sgr A* и отражено молекулярным газом массивного облака, находящегося на расстоянии всего 350 световых лет от Sgr A*. Сейчас светимость Sgr A* не превышает 10^{33-34} эрг/с, в то вре-

мя как 350 лет назад (для наблюдателя на Земле) она должна была быть в миллионы раз больше — на уровне $\sim 10^{39}$ эрг/с. Такое отражение добавило бы в излучение молекулярного облака флуоресцентную линию железа (6.4 кэВ) и жесткий рентгеновский континуум. Однако это было не единственное возможное объяснение. Только измерения в жестком рентгеновском диапазоне, проведенные обсерваторией «Интеграл», позволили подтвердить, что модель с рентгеновским эхом прошлой активности Sgr A* наилучшим образом согласуется с наблюдениями (рис.6). В результате модельных расчетов оказалось возможным определить исходный спектр излучения Sgr A* со светимостью $\sim 10^{39}$ эрг/с [9]. Но даже такая светимость очень мала по сравнению со светимостью активных ядер галактик.

Измеряем Вселенную

Исследования, нацеленные на определение значений основных космологических параметров, которые описывают состояние и эволюцию Вселен-

ной, в последние несколько лет достигли качественно нового уровня точности. Вместо оценок по порядку величины становятся возможными измерения постоянной Хаббла H_0 , параметра плотности вещества во Вселенной Ω , космологической постоянной Λ и т.д. с относительной погрешностью около 10%. Многие исследователи характеризуют такое положение дел как эру прецизионных измерений, когда на первый план выходят не статистические, а систематические погрешности, присущие тем или иным методам измерений. По этой причине для надежного определения значений космологических параметров требуется согласие многих независимых методов. Скопления галактик, самые массивные гравитационно связанные объекты во Вселенной, играют особую роль в решении подобных классических задач космологии, так как темп эволюции скоплений на больших красных смещениях чувствителен к значению основных космологических параметров.

Надежнее всего массивное скопление галактик можно распознать по протяженному рентгеновскому излучению горячей межгалактической плазмы. Это вызвано тем, что масса горячего газа с температурой $\sim 10^7$ К, наблюдаемого в рентгеновском диапазоне, в ~ 10 раз больше, чем масса всех звезд в галактиках, входящих в скопление. Рентгеновские телескопы позволяют довольно легко детектировать скопления в диапазоне красных смещений 0.5–1, где эволюционные эффекты уже достаточно выражены, но все еще возможны довольно детальные исследования каждого объекта. Наблюдения, выполненные спутником «ROSAT» в течение восьми лет его работы, дают достаточный наблюдательный материал для составления обширного каталога далеких скоплений.

Начиная с 1996 г. в ИКИ ведется систематическая работа по анализу архивных наблюде-

ний спутника «ROSAT» и последующих оптических наблюдений найденных далеких скоплений галактик. Для поиска протяженных объектов разработаны специальные алгоритмы анализа рентгеновских изображений, позволяющие обнаруживать источники очень малой интенсивности, правильно их классифицировать и измерять основные параметры. По результатам поиска подобных объектов был составлен самый большой опубликованный каталог далеких скоплений, содержащий 203 объекта и покрывающий в сумме телесный угол 160 квадратных градусов (каталог 160d). В 2003–2004 гг. была закончена работа по расширению обзора до 400 квадратных градусов. Для проведения оптических идентификаций скоплений из обзора 400d использовался Российско-Турецкий телескоп РТТ150.

Последующие исследования данных скоплений позволили определить темп их эволюции при $z \approx 0.5$ (т.е. на момент времени примерно 5 млрд. лет назад), которая проявляется в изменении соотношений между основными параметрами (масса, температура и светимость),

и, что наиболее интересно для космологических измерений, в их пространственной плотности. На рис.7 показана функция распределения масс скоплений, измеренных при $z = 0.4–0.8$. Видно, что пространственная плотность скоплений данной массы падает примерно в 10 раз по сравнению с количеством таких же скоплений на низких красных смещениях [10]. Данный темп эволюции позволяет ограничить комбинацию значений параметра плотности Вселенной и космологической постоянной (рис.8).

В настоящее время спутник «Chandra» следит за далекими объектами из обзора 400d (всего около 40 скоплений на $z > 0.35$). Ожидаемая точность определения эволюции распределения скоплений по массам в результате этих наблюдений должна быть достаточной, чтобы найти диапазон возможных параметров темной энергии.

Рентгеновские наблюдения близких скоплений, выполненные орбитальными обсерваториями «Chandra» и «XMM-Newton», позволили также детально исследовать многие процессы, возникающие при слия-

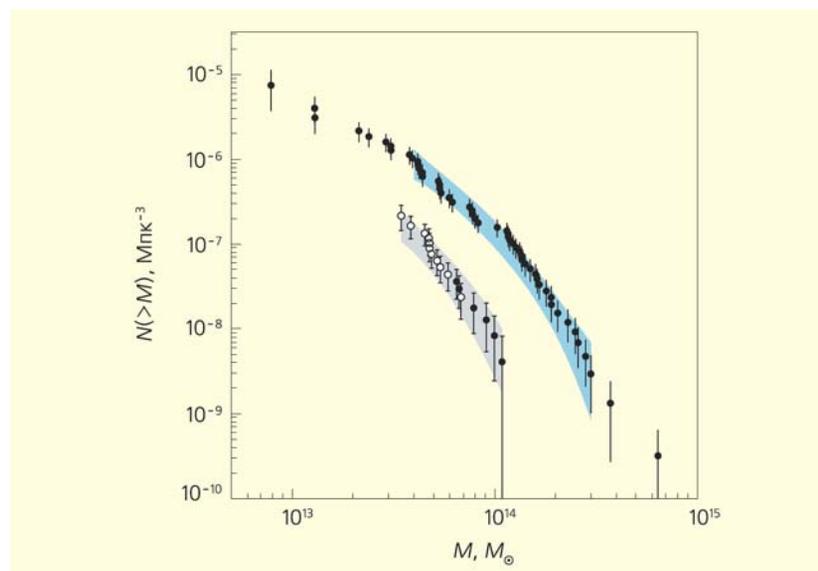


Рис.7. Интегральные распределения по массе барийной составляющей: скоплений при $0.4 \leq z \leq 0.8$, данные каталога 160d (выделено серым); близких скоплений для $0.01 \leq z \leq 0.2$, из работы [10] (голубым).

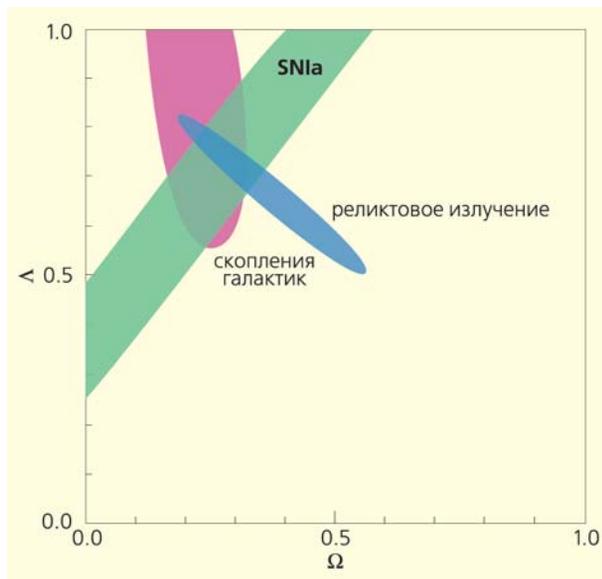


Рис.8. Ограничения на значения параметра плотности и космологической постоянной, получаемые с помощью различных методов: по наблюдениям сверхновых I типа SNIa; по регистрации микроволнового реликтового фона; по изучению эволюции скоплений галактик.

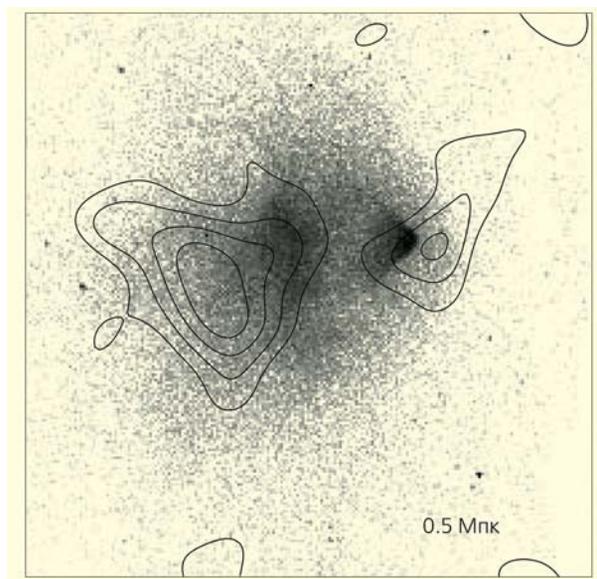


Рис.9. Ударная волна (черный треугольник справа) в скоплении галактик 1E0657 по данным обсерватории «Chandra». Контурсы соответствуют распределению плотности материи, измеренному методом слабого линзирования [11].

нии массивных скоплениях галактик.

Изображение скопления 1E0657, полученное спутником «Chandra» (рис.9), ясно указывает на существование мощной ударной волны, которую вызывает движение плотного остатка влетающего менее массивного скопления галактик. Анализ профиля ударной волны позволяет установить скорость влета, оценить энергию, переданную от протонов к электронам в бесстолкновительной ударной волне, изучить вероятные механиз-

мы ускорения релятивистских частиц, ответственных за протяженное радиоизлучение скоплений. В данном объекте удалось точно измерить пространственной распределение гравитирующей материи методом слабого линзирования [11]. Оказалось, что центр масс влетающего скопления сдвинут относительно центра масс его барионной компоненты, масса которой определяется наблюдаемым в рентгеновском диапазоне газом. Этот сдвиг — вероятно, единственное на сегодняшний

день прямое указание на существование темной материи.

* * *

В рамках небольшой статьи нельзя охватить многообразие научных задач и физических процессов, которые относятся к астрофизике высоких энергий — можно ограничиться лишь несколькими примерами. Загадок пока очень много, но стремительное развитие этого направления исследований все-таки дает надежду, что их удастся разгадать. ■

Литература

1. *Shakura N., Sunyaev R.* // *Astron. and Astrophys.* 1973. V.24. P.337—355.
2. *Sunyaev R., Titarchuk L.* // *Astron. and Astrophys.* 1980. V.86. P.121—138.
3. *Sunyaev R., Revnitsev M.* // *Astron. and Astrophys.* 2000. V.358. P.617—623.
4. *Churazov E., Sunyaev R., Sazonov S. et al.* // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* 2005. V.357. №4. P.1377—1386.
5. *Буренин П.А., Сюняев П.А., Павлинский М.Н. и др.* // *Письма в Астрон. журн.* 2003. Т.29. №9. С.649—654.
6. *Sazonov S., Lutovinov A., Sunyaev R.* // *Nature.* 2004. V.430. №7000. P.646—648.
7. *Revnitsev M., Sazonov S., Jaboda K., Gilfanov M.* // *Astron. and Astrophys.* 2004. V.418. P.927—936.
8. *Markevitch M., Sunyaev R., Pavlinsky M.* // *Nature.* 1993. V.364. №6432. P.40—42.
9. *Revnitsev M., Churazov E., Sazonov S. et al.* // *Astron. and Astrophys.* 2004. V.425. P.L49—L52.
10. *Voevodkin A., Vikhlinin A.* // *Astrophys. J.* 2004. V.601. P.610—620.
11. *Markevitch M., Gonzalez A., Clowe D. et al.* // *Astrophys. J.* 2004. V.606. P.819—824.

Новые исследования Марса и сравнительная планетология



В.И.Мороз, О.И.Кораблев, А.В.Родин

В последние годы человечество демонстрирует огромные успехи в исследовании Солнечной системы. Несколько месяцев назад аппарат «Nuuygens» спустился на спутник Сатурна Титан, открыв нашему взору холодный углеводородный мир, до сих пор скрытый под плотным слоем фотохимического смога. За последнее десятилетие осуществлена мягкая посадка на астероид, проведен облет и детальное картирование галилеевых спутников Юпитера, осуществлен пуск зондов «Rosetta» и «Deep Impact» к ядрам комет. Однако самые впечатляющие успехи, безусловно, были достигнуты в исследовании Марса, где в последние годы сделано немало крупных открытий.

Самым значительным прорывом в исследованиях Марса за всю космическую эпоху стал проект «Viking» (1976 г., два спутника Марса и два посадочных модуля). Рекордным было время жизни аппаратов: например, посадочный модуль «Viking Lander-1» работал на поверхности более шести лет. Более двух марсианских лет охвачено дистанционными измерениями с орбиты. На основе обобщения огромного объема наблюдательных данных сформирова-



Василий Иванович Мороз (20.05.1931—23.06.2004), доктор физико-математических наук, профессор, 30 лет руководил отделом физики планет и малых тел Солнечной системы ИКИ РАН. Заслуженный деятель науки РФ, лауреат Государственной премии СССР (1985). Специалист в области физики планет и инфракрасной астрономии. Научный руководитель экспериментов на космических аппаратах «Марс-2, -3, -5», «Венера-9-15», «Вега-1 и -2», «Фобос-2», научный руководитель программ «Марс-96» и «Марс Экспресс» (в России).



Олег Игоревич Кораблев, доктор физико-математических наук, заместитель директора и заведующий отделом физики планет того же института. Область научных интересов — физика планет и космические эксперименты. Участник экспериментов на космических аппаратах «Вега-1 и -2», «Фобос-2», научный руководитель экспериментов в программах «Марс-96», «Марс Экспресс», «Венера Экспресс» и «Бени Колombo».



Александр Вячеславович Родин, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной физики Московского физико-технического института, старший научный сотрудник того же института. Занимается физикой планет, климатическим моделированием. Участник экспериментов на космических аппаратах «Вега-1 и -2», «Фобос-2», «Марс-96», «Марс Экспресс», «Венера Экспресс».

© Мороз В.И., Кораблев О.И., Родин А.В., 2005

лась картина современного климата Марса, которую иногда называют викинговской [1].

Важной вехой в исследовании Марса в нашей стране стал проект «Фобос-88». Хотя посадка на Фобос не удалась, за два месяца 1989 г. орбитальный аппарат «Фобос-2» сделал больше, чем все предыдущие советские миссии. Впервые исследована вертикальная структура нижней атмосферы, распределение в ней пыли, паров воды, получены уникальные для того времени изображения поверхности в тепловом диапазоне длин волн. Затем последовала череда неудач. На подлете

к Марсу погиб орбитальный аппарат НАСА «Mars Observer» (1992). Еще более амбициозный российский проект «Марс-96» (550 кг научной аппаратуры, две малые станции, два пенетратора) не вышел на межпланетную траекторию из-за отказа разгонного блока ракеты-носителя. Эта авария на многие годы затормозила российскую планетную программу. Большинство задуманных тогда экспериментов удалось осуществить лишь почти через десятилетие, в новом формате международного сотрудничества и, безусловно, с новыми идеями и решениями.

Переменчивый климат Красной планеты

Новейшую историю в исследованиях Марса можно отсчитывать с космического аппарата «Mars Global Surveyor» (MGS). Спутник с аналогами приборов «Mars Observer» — фурье-спектрометром «Thermal Emission Spectrometer» (TES), телевизионной системой, лазерным альтиметром и магнетометром был выведен на орбиту Марса в 1997 г. и работает до сих пор. В течение более трех марсианских лет подряд ведется мониторинг температуры, аэрозолей и содержания водяного пара на

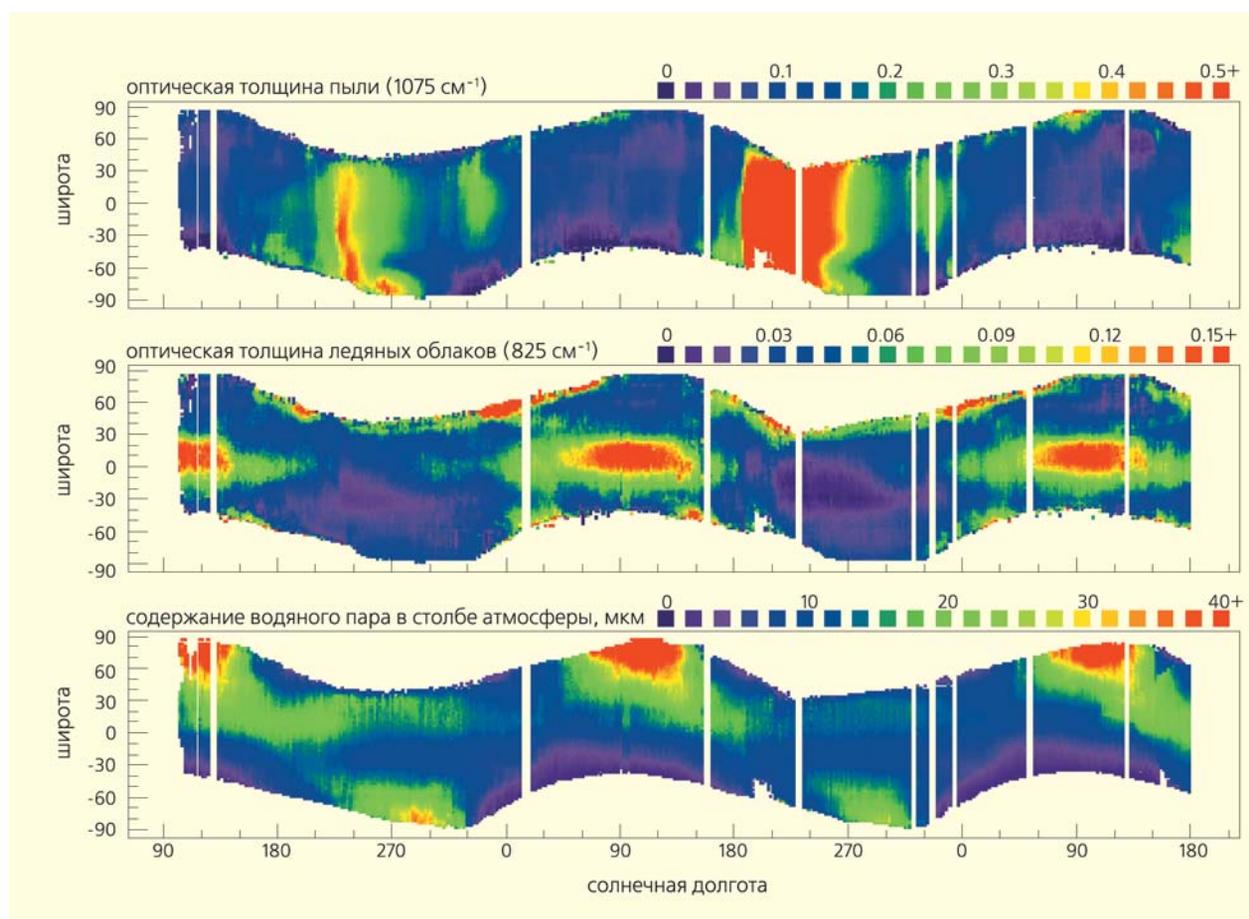


Рис. 1. Сезонный цикл водяного пара и аэрозолей в атмосфере Марса по данным прибора TES «Mars Global Surveyor» [2] для двух марсианских лет. На верхней панели — оптическая толщина пыли в полосе поглощения 1075 см^{-1} , на средней — оптическая толщина ледяных облаков в полосе 825 см^{-1} , на нижней — содержание паров воды в атмосфере. Солнечная долгота L_s обозначает сезон на Марсе ($L_s = 0-360^\circ$; 0° соответствует весеннему равноденствию в северном полушарии). Все данные усреднены по долготе. Максимум водяного пара в северном полушарии вблизи афелия сопровождается повышенной облачностью в экваториальных широтах. Пыли больше вблизи перигелия.

основе данных спектрометра TES (рис.1). Лазерный альтиметр позволил установить с высокой точностью как фигуру планеты с присущей ей глобальной асимметрией (южное полушарие Марса выше северного на 3–4 км), так и локальную топографию. Измерения магнетометра положили конец спорам о магнитном поле Марса: обнаружена остаточная намагниченность коры. Аппарат НАСА «Mars Odyssey» (2001) доставил к Марсу спектрометр гамма-излучения, еще один, после спектрометра TES, прибор, первоначально предназначенный для миссии «Mars Observer». Результаты этого прибора и работающего совместно с ним российского нейтронного спектрометра «High Energy Neutron Detector» (HEND) — обнаружение воды в верхних 1–3 м грунта с содержанием 35–50% в полярных областях и 5–10% в некоторых областях вблизи экватора — широко известны и причислены к важнейшим достижениям отечественной космической науки (см. статью И.Г.Митрофанова в этом номере).

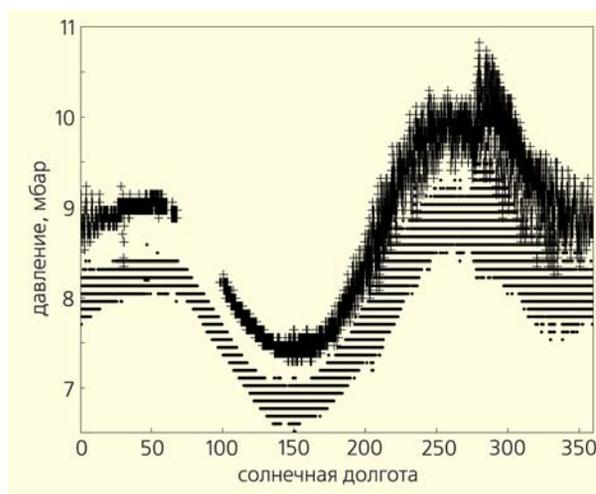
Давление у поверхности Марса от 4 до 10 мбар, средняя температура поверхности около 210 К, при больших суточных, широтных и сезонных вариациях: от минимально возможной, ограниченной конденсацией атмосферы, температу-

ры 145 К, которая достигается в высоких широтах в период полярной ночи, и до 290 К и более — в средних летних широтах после полудня. Такой огромный по сравнению с Землей диапазон температур, а также тот факт, что максимальные температуры достигаются не в тропиках, а в средних широтах, объясняется низкой плотностью атмосферы и отсутствием океана, который выполняет на Земле функцию термостата. Сезоны на Марсе похожи на земные, но сезонный цикл усложнен относительно большим ($e \approx 0.09$) эксцентриситетом орбиты, в результате которого южное лето короче и теплее северного. Зимой CO_2 , из которого в основном состоит марсианская атмосфера, конденсируется и выпадает на поверхность, образуя сезонные полярные шапки. При этом в твердую фазу периодически переходит до 25% массы атмосферы (рис.2). Кроме сезонных полярных шапок, на Марсе существуют постоянные, остаточные полярные шапки, которые заметно различаются между собой. Северная полярная шапка существенно больше южной и состоит в основном из водяного льда, тогда как южная шапка, судя по спектру ее теплового излучения, имеет температуру конденсации CO_2 и, следовательно, состоит из твердой углекисло-

ты. Асимметричен и гидрологический цикл планеты (рис.1).

Споры о причинах такой асимметрии идут достаточно давно. Вначале сезонную миграцию водяного пара связывали с высвобождением воды, адсорбированной марсианским грунтом, и асимметрию атмосферного цикла объясняли неоднородностью свойств поверхности планеты. На рубеже 1990-х годов стало ясно, что ведущую роль в гидрологическом цикле играют атмосферные процессы. Т.Клэнси с коллегами высказали гипотезу о ведущей роли эксцентриситета орбиты Марса в гидрологическом цикле [3]. В современную эпоху прохождение Марсом афелия, когда поток солнечного излучения и, следовательно, температура планеты минимальны, совпадает с летом северного полушария. Глобальная циркуляция атмосферы Марса, изображенная на рис.3, отличается от земной. Так же, как и на Земле, на Марсе есть глобальная конвективная ячейка, однако она не локализована в тропиках, а распространяется в высокие широты и пересекает экватор. Восходящая ветвь ячейки на Марсе всегда находится вблизи самой теплой точки планеты, т.е. в периоды солнцестояния — в средних широтах летнего полушария. Поэтому доминирующее направление переноса в марсианской

Рис.2. Сезонный цикл атмосферного давления на Марсе по данным метеорологических измерений на посадочных аппаратах «Viking». Первый зонд (VL1, измерения показаны точками) совершил мягкую посадку в долине Хриса в точке 22.48°с.ш. , 49.97°з.д. , второй (VL2, измерения показаны крестиками) — на плато Утопия в точке 47.97°с.ш. , 225.74°з.д. По горизонтали отложена солнечная долгота L_s , начало координат в точке весеннего равноденствия северного полушария. Осцилляции более чем на 25% указывают на изменение массы атмосферы за счет конденсации на сезонных полярных шапках. Всплеск в данных VL1 при $L_s = 280^\circ$ — следствие мощного возмущения атмосферной циркуляции из-за глобальной пылевой бури.



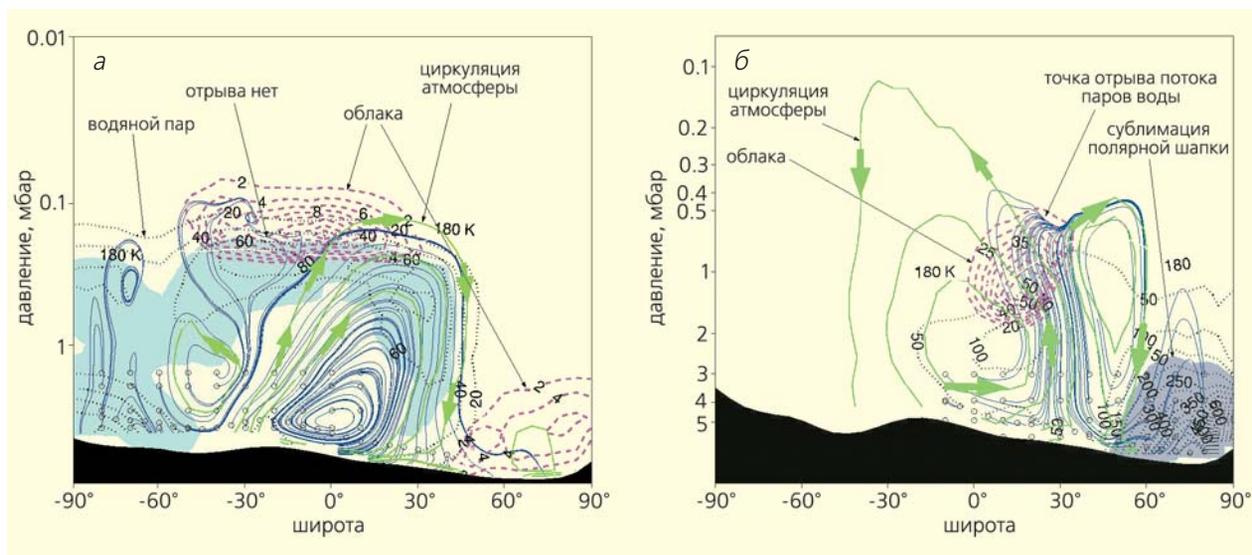


Рис.3. Гидрологический цикл Марса по данным разработанной в Лаборатории геофизической гидродинамики (США) при сотрудничестве с ИКИ РАН численной модели общей циркуляции атмосферы, иллюстрирующий роль облаков при переносе воды. По горизонтальной оси отложена широта, по вертикальной — давление в логарифмическом масштабе. Рисунки приведены в разных масштабах по вертикали (см. шкалу давлений). В афелии (а) мощная тропическая облачность приводит к быстрому оседанию ледяных частиц и отрыву потока масс воды (линии тока показаны синим цветом) от атмосферной циркуляции (линии тока зеленые, направление показано стрелками), препятствуя ее меридиональному переносу в южное полушарие. В перигелии (б) облачность слаба, и линии тока воды в атмосфере повторяют течение воздушных масс.

глобальной конвективной ячейке — не от экватора в тропики, как на Земле, а из летнего полушария в зимнее. Сама ячейка, в отличие от земной, простирается до полярных широт. Связано это с повышенной статической устойчивостью марсианской атмосферы за счет присутствия в ней дополнительного поглотителя — пылевого аэрозоля. Во время прохождения Марсом афелия глобальный пояс облаков, образующийся из-за относительно холодного и влажного климата в самом начале восходящей ветви глобальной конвективной ячейки (рис.3,а), препятствует переносу воды в южное полушарие. В перигелии (рис.3,б) температуры выше, облачной «пробки» не образуется, и весь находящийся в атмосфере водяной пар равномерно перемешивается между полушариями. За длительное время (период оборота перигелия Марса составляет около 50 тыс. лет) происходит

«перекачка» довольно существенных масс воды в полушарие, лето в котором совпадает с афелием, чем и объясняется различие полярных шапок. Очевидно, такой сезонный «насос» меняет направление через полпериода оборота перигелия Марса, и, если считать его основным объяснением асимметрии полярных шапок, следует признать, что возраст этой асимметрии около 25 тыс. лет. Другое объяснение [4] основано на глобальной асимметрии фигуры Марса. Во время северного лета меридиональный поток ячейки «взбирается в гору», что ослабляет ее интенсивность и, следовательно, ослабляет меридиональный перенос воды, способствуя накоплению воды на северном полюсе. В южное лето, напротив, атмосферный поток «скатывается с горы», его интенсивность выше, интенсивнее и меридиональный перенос, вследствие чего вода на южном полюсе не задерживается. Вопрос о коли-

чественном соотношении этих механизмов пока остается открытым, однако обнаружение аппаратом «Mars Express» водяного льда в Южной полярной шапке косвенно указывает на относительно молодой возраст ее углекислого покрова и, следовательно, поддерживает гипотезу Клэнси.

Иногда в период прохождения перигелия запыленность атмосферы начинает быстро расти, так что через несколько недель вся планета оказывается покрыта пылевыми облаками (рис.4). Возникают глобальные пылевые бури — атмосферные неустойчивости, не имеющие земных аналогов. В такие периоды возникает положительная обратная связь между атмосферным переносом пыли, поглощающей солнечное излучение, и интенсивностью циркуляции ячейки. В этом явлении много неясного — например, спусковой механизм, способствующий зарождению неустой-

чивости и, возможно, связанный с сублимацией полярных отложений и волновыми эффектами в глобальной циркуляции атмосферы. Не до конца понятен и механизм угасания глобальных пылевых бурь, и их изменчивость.

Наверное, ни одна из решаемых марсианскими экспедициями задач не освещалась столь подробно, как проблема воды, и на ней следует остановиться особо. Жидкая вода на Марсе неустойчива, хотя давление и температура недалеко от тройной точки, что на короткое время делает возможным образование и просачивание через грунт жидкой воды. Почти вся имеющаяся на Марсе вода находится в грунте в виде вечной мерзлоты, причем водяной лед служит существенной составляющей горной породы, слагающей марсианский грунт. Со времен проекта «Viking» воображение исследователей будоражили многочисленные свидетельства воздействия потоков жидкой воды на ландшафт планеты. Если справедлива гипотеза о том, что в геологически отдаленную эпоху

относительно высокое давление углекислой атмосферы поддерживало на высоком уровне парниковый эффект и жидкая вода была повсеместно распространена [5], то около 2.5 млрд лет назад Марс должен был пережить радикальное изменение климата — от относительно «мягкого» до нынешнего, непригодного для существования биосферы. Споры о том, был ли в прошлом климат Марса более теплым и существовала ли там гидросфера земного типа, длятся давно и переживают циклическое развитие. Полученные «Викингами» изображения открыли взору многочисленные русла рек, долины, осадочные отложения (рис.5), свидетельствующие о мягком климате прошлых эпох. С течением времени позиции сторонников «теплого и сырого раннего Марса» (выражение Дж.Поллака) несколько ослабли: марсианские долины, их форму и поперечный профиль все чаще стали интерпретировать как результат деятельности ледников либо катастрофических потоков селевого типа. Недавно гипотеза

о существовании древнего океана в северном полушарии вновь нашла подтверждение. На месте посадки «Pathfinder» (1997) обнаружены свидетельства активности текущей воды, марсоходы «Spirit» и «Opportunity» обнаружили минералы, для формирования которых необходима жидкая вода [6]. Последние открытия сделаны при помощи мессбауэровского и альфа-рентгеновского спектрометров, подготовленных с участием наших ученых и восходящих к малым станциям проекта «Марс-96» (рис.6).

Несмотря на эти разногласия, сейчас можно с уверенностью утверждать, что еще в относительно недавнем прошлом Марс испытывал серьезные изменения климата. Связаны они периодическими изменениями угла наклона оси вращения планеты, в результате которых изменяется тепловой режим различных широт. На Земле, где накоплено достаточно эмпирического материала о квазипериодических изменениях климата, подобные колебания были объяснены около 100 лет назад

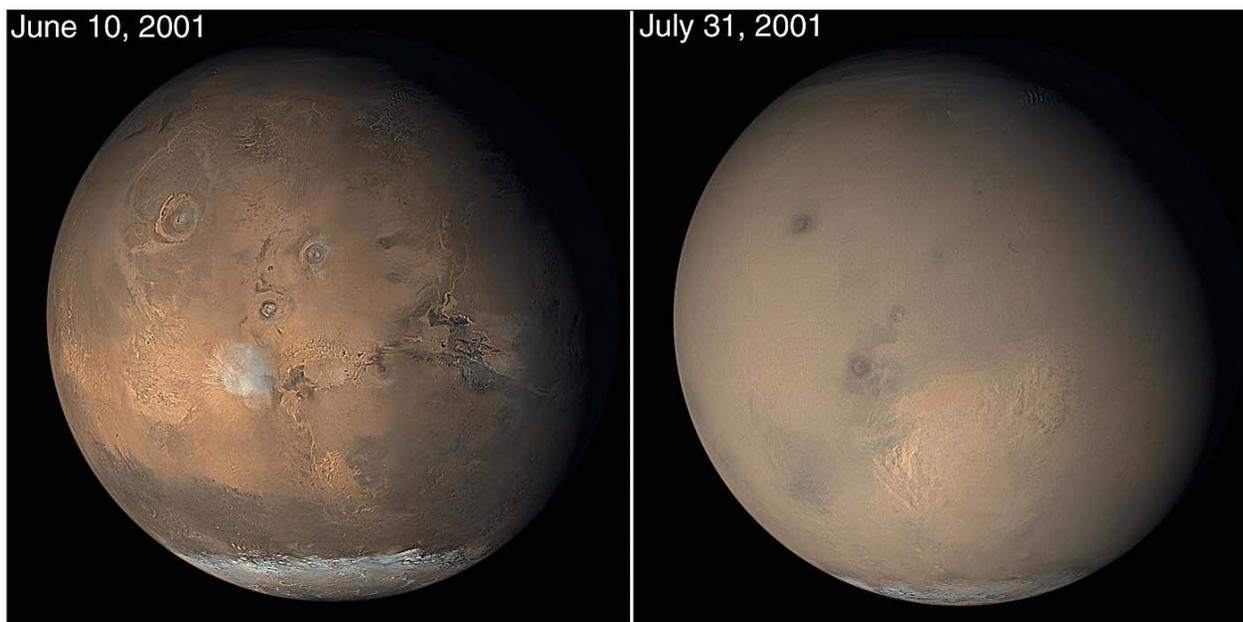


Рис.4. Изображения Марса, полученные 2001 г. камерой МОС перед началом и в момент развития глобальной пылевой бури. Видны области Элизима, Фарсиды и Долины Маринеров, уменьшающаяся со временем сезонная полярная шапка в южном полушарии. (NASA/JPL/Malin Space Science Systems.)

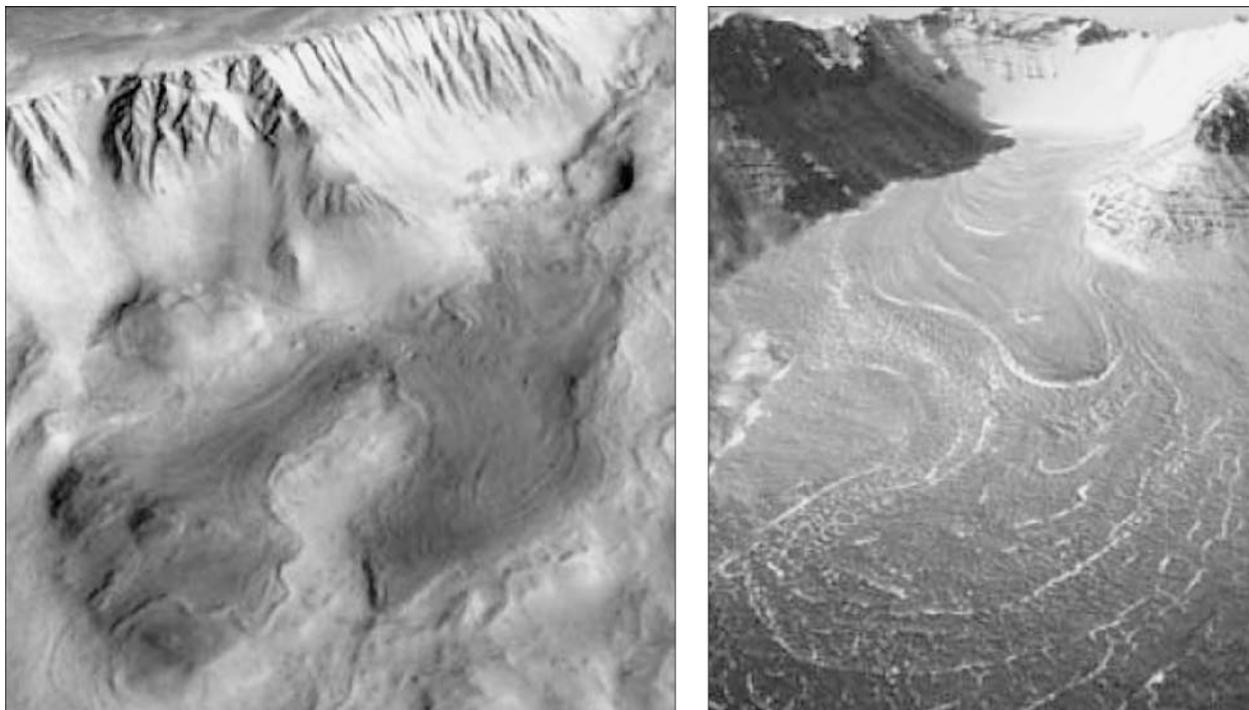


Рис.5. Отложения, оставшиеся от относительно недавнего ледника у подножья горы Олимп (138°з.д., 18°с.ш.), и земная аналогия [6]. слева — снимок камеры HSRC КА «Mars Express» с орбиты №143, справа — ледник, покрытый скальными отложениями толщиной ~5 м в Антарктиде.



Рис.6. Мёсбауэровский спектрометр анализирует грунт в борозде, прорытой колесами марсохода «Spirit» в районе Лагуны Холлоу. Снимок сделан служебной камерой «HAZCAM», предназначенной для предотвращения нештатных ситуаций, 21 февраля 2004 г. (NASA/JPL/Cornell.)

сербским ученым С.Миланковичем. На Марсе этапы геологической истории просматриваются лишь в общих чертах, и исследования реакции климата на изменение орбитальных параметров возможны лишь с помощью моделей общей циркуляции атмосферы. По современным представлениям, угол наклона оси вращения, значение которого в наше время составляет 25°, достигает 45° с периодичностью около 125 тыс. лет, и даже 60° — с периодом в несколько миллионов лет. Все существующие модели показывают, что при увеличении угла наклона оси вращения происходит перераспределение конденсированных форм воды, в первую очередь льда, из полярной шапки в низкие широты, где могут формироваться ледники [7]. Мобилизация воды и перенос ее в атмосфере происходит весьма интенсивно, и эти процессы, как и на Земле, влияют на геологический облик планеты (рис.5). Немало данных, свидетельствующих о недавних изме-

нениях климата, получено последней марсианской миссией «Mars Express».

Первые результаты «Mars Express»

Аппарат Европейского космического агентства «Mars Express» работает на орбите Марса с января 2004 г. Реализация этого проекта — преемника российского «Марс-96» — крупнейший успех европейской и российской планетной науки. На борту аппарата семь научных приборов: ТВ-камера «High Resolution Stereo Camera» (HRSC) для стереосъемки поверхности планеты с разрешением до 10 м, спектрометры «Observatoire pour la Mineralogie, l'Eau, les Glaces et l'Activite» (OMEGA), «Planetary Fourier Spectrometer» (PFS) и «Spectroscopy for Investigations of Characteristics of the Atmosphere of Mars» (SPICAM), анализатор плазмы и нейтрального газа «Analyser of Space Plasmas and Energetic Atoms» (ASPERA), длинноволновый радар «Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding» (MARSIS) и аппаратура для радиопросвечивания атмосферы «Mars Radio Science» (MaRS). Эксперименты «Mars Express» повторяют аналогичные исследования в программе «Марс-96»; в случае OMEGA даже использован запасной прибор. Хотя для этого были все предпосылки, «Mars Express» не стал совместным проектом ЕКА и Роскосмоса. Руководителями всех экспериментов являются ученые из стран Евросоюза, в шести экспериментах российские ученые входят в научные команды в качестве официальных участников и имеют равные права на научные результаты.

Для трех приборов — спектрометров OMEGA (картирующий спектрометр, диапазон 0.5–5.2 мкм, пространственное разрешение 0.3–5 км), PFS (ИК-фурье-спектрометр высокого

спектрального разрешения, диапазон 1.2–40 мкм, разрешение 1.4 см⁻¹) и SPICAM (универсальный УФ-ИК-спектрометр для измерений в надире и режимах затмений Солнца и звезд) Россия поставила важные элементы: сканер OMEGA, детекторы PFS и один из двух измерительных каналов SPICAM — спектрометр ближнего ИК-диапазона на базе акустооптического фильтра (1.0–1.7 мкм, спектр. разрешение 3.5 см⁻¹).

Измерения при помощи созданных российскими учеными совместно с западноевропейскими коллегами спектрометров уже позволили получить ряд важных результатов, многие из которых только готовятся к публикации. Это измерения структуры атмосферы с высокой точностью (PFS и SPICAM) от поверхности до 100–150 км. Прибор PFS позволяет по каждому спектру одновременно восстанавливать температурный профиль атмосферы до 50–55 км, измерять содержание пыли и конденсационного аэрозоля. Впервые одновременно измерены содержания и построены карты водяного пара и озона в атмосфере. Водяной пар измеряется PFS и SPICAM в ИК-диапазоне, озон — в УФ-диапазоне (SPICAM) и по регистрации свечения возбужденного кислорода

да на длине волны 1.27 мкм. Свечение возникает при фотодиссоциации озона выше уровня 15–20 км. Оно наблюдалось в спектрах всех трех экспериментов: с высоким спектральным разрешением экспериментами SPICAM и PFS и высоким пространственным разрешением — OMEGA. Изображения OMEGA в полосе излучения 1.27 мкм имеют волновую структуру, подобные же волны наблюдаются и в изображениях облаков из водяного льда и CO₂. Это могут быть внутренние волны плавучести, впервые наблюдаемые с такой наглядностью. Прибором SPICAM обнаружено ночное свечение монооксида азота, известное на Венере, но не наблюдавшееся ранее на Марсе. Открыты мельчайшие, субмикронные аэрозольные частицы, заполняющие атмосферу Марса до высот 70–100 км. Объем статьи не позволяет подробно комментировать эти результаты. Остановимся лишь на двух самых интересных открытиях.

Впервые обнаружен **водяной лед** в постоянной южной полярной шапке Марса в конце марсианского лета. На Южной полярной шапке в ИК-спектрах трех приборов отождествлены полосы поглощения CO₂-льда с примесями льда H₂O и пыли (рис.7), причем распределение

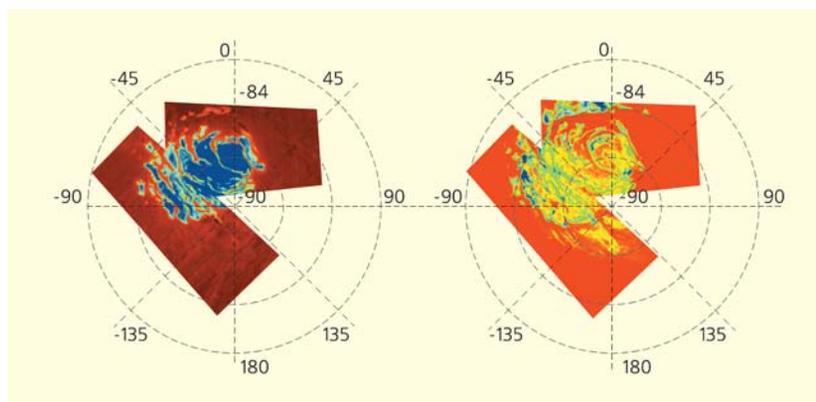


Рис.7. Изображение южной полярной шапки Марса картирующим спектрометром OMEGA: в полосе поглощения углекислотного льда и в полосе поглощения водяного льда (содержание льда возрастает от красного к синему цвету, по Бибрингу и др.). Видно, что залежи водяного льда «выглядывают» из-под слоя твердой углекислоты.

льдов и пыли неоднородно. Карты, построенные по данным OMEGA с разрешением 1–3 км, свидетельствуют о том, что участки водяного льда находятся на краях более обширных областей CO₂-льда. При совместном анализе со снимками высокого разрешения MGS можно заключить, что толщина слоя CO₂-льда не превышает нескольких метров, а под ним находится мощный захороненный слой водяного льда, возможно, эквивалентный постоянной северной полярной шапке. Исследования северной полярной шапки в конце 2004 г., после летнего солнцестояния, подтвердили ее состав — водяной лед с небольшой (менее 1%) примесью пыли. Прибором OMEGA проведено минералогическое картирование значительной части планеты, и, при существенном разнообразии минерального состава, карбонаты не были обнаружены. Таким образом, данные «Mars Express» не подтверждают наличия запасов твердого CO₂ на Марсе, достаточных для существенного изменения массы атмосферы [8].

После долгих бесплодных попыток **метан в атмосфере Марса** был обнаружен практически одновременно тремя независимыми группами исследователей. Планетный Фурье-спектрометр PFS КА «Mars Express» обладает высоким спектральным разрешением, что позволяет детектировать и исследовать распределение малых газовых составляющих ат-

мосферы. По слабому поглощению в Q-ветви полосы 3.3 мкм определено среднее содержание метана, равное 10±5 ppb (частей на миллиард). Измерения ПФС свидетельствуют о различном содержании CH₄ в различных областях Марса: от 0 до 30 ppb [9]. Несколько ранее аналогичное количество метана, а также изменчивость его содержания были отождествлены по данным наземных наблюдений [10]. Конечно, 10 ppb — это очень мало, но, так как метан непрерывно разрушается в атмосфере за счет фотодиссоциации, для поддержания такого количества на Марсе необходим источник метана производительностью порядка 300 т/год. Хотя Марс тектонически неактивен, такой источник может быть связан с «точечной» тектоникой: остаточным вулканизмом либо геотермальной активностью. Однако картирующий ИК-радиометр THEMIS (КА «Mars Odyssey»), специально созданный для поиска «горячих точек», пока не обнаружил ни одной. Падающие на Марс кометы или метеориты могут дать только 2–4% необходимого воспроизводства метана. Поэтому нельзя исключить и самых экзотических предположений, в том числе и наличия на нижней границе криосферы, на глубине более 2 км, месторождений газогидратов и даже существования там бактерий-метаногенов, подобных обнаруженным в глубоких подземных экосистемах Земли.

Сравнительная планетология: мост от Земли к другим планетам

Являются ли все эти интересные факты лишь пищей для человеческого любопытства или все же имеют практическое приложение? Связующее звено между планетной наукой и науками о Земле — область междисциплинарных исследований, которую называют сравнительной планетологией [11, 12]. Различные процессы в атмосферах Венеры и Марса, а также Титана, спутника Сатурна, можно напрямую сравнивать с аналогичными процессами на Земле. Для жизни на планете наиболее важен ее климат: температура, давление, наличие или отсутствие жидкой воды, а также состав атмосферы. История климата нашей планеты записана в геологической летописи осадочных пород. Это позволяет ученым заглянуть в прошлое, судить об изменении условий обитания на Земле вплоть до момента зарождения жизни и оценить условия более ранних эпох. Исследования пород более раннего периода проводить гораздо труднее из-за отсутствием биомаркеров, позволяющих судить об их возрасте. Однако даже такую ценнейшую информацию, как геологическая летопись, зачастую бывает трудно интерпретировать. История других планет может помочь в ее расшифровке.

Аналогия с другими планетами помогает заглянуть не только в прошлое, но и в будущее Земли (табл.1, 2). Все возрастающее

Таблица 1

Некоторые характеристики планет земной группы

	Среднее расстояние от Солнца, а.е.	Масса относительно Земли	Давление у поверхности, бар	Температура поверхности, К	Основные атмосферные газы	Парниковый эффект, К
Меркурий	0.39	0.052	10 ⁻¹⁶	440	Na, He	0
Венера	0.72	0.81	92	735	CO ₂ , N ₂	500
Земля	1	1	1	289	N ₂ , O ₂ , (CO ₂ , H ₂ O)	39
Марс	1.52	0.11	0.006	214	CO ₂ , N ₂ , (H ₂ O)	4
Титан	9.54	0.0225	1.6	90	N ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂	<20

Таблица 2

Относительное содержание основных атмосферных газов и запасы летучих на планетах земной группы

	CO ₂	N ₂	Ar	H ₂ O	D/H (отн. Земли)
Меркурий	—	—	0.07	—	—
Венера	0.965	0.035	7·10 ⁻⁵	(3–10)·10 ⁻⁵	146
Земля*	3.7·10 ⁻⁴	0.78	9.34·10 ⁻³	<0.03	1
Марс**	0.953	0.027	0.016	<10 ⁻⁴	6
Титан***	—	0.90	0.06	—	2

* В океане и ледниках Земли содержится эквивалент 270 бар H₂O, а в коре Земли — эквивалент 53 бар CO₂.** В вечной мерзлоте и полярных шапках Марса не более 30 бар H₂O.

*** На Титане водяной лед составляет существенную часть коры и, вероятно, мантии.

беспокойство в обществе вызывают изменения климата, связанные с деятельностью человека. Насколько устойчива климатическая система Земли, действительно ли увеличение содержания антропогенной углекислоты в атмосфере представляет угрозу с точки зрения изменения условий обитания? Могут ли слабые изменения температуры, вызванные увеличением содержания CO₂, вызвать резкие изменения в тропосфере, повлечь к необратимому увеличению содержания водяного пара и парниковой катастрофе? Для поисков ответа на подобные вопросы применяют

трехмерные модели общей циркуляции атмосферы. Однако модель хорошо работает, когда ее можно сравнить с измерениями. И здесь на помощь приходят другие планеты. Их атмосферы и климатические системы — прекрасные испытательные стенды для проверки моделей общей циркуляции и тестирования лежащих в их основе многочисленных допущений и параметризаций. В силу разных причин, главная из которых — отсутствие на других планетах биосферного фактора, их климатические системы намного проще и легче поддаются количествен-

ному описанию *ab initio*. В каком-то смысле подход, развиваемый в сравнительной планетологии, родствен зарекомендовавшему себя еще в Средние века методу изучения физиологии человека с помощью аналогий с примитивными биологическими видами. Результат налицо — сегодня человечество не мыслит себя без современной медицины. Успехами в «лечении» нашей планеты пока гордиться рано, однако очевидно, что будущим поколениям этого не избежать. И опереться им придется на те знания, которые мы им оставим. ■

Литература

1. Мороз В.И. Физика планеты Марс. М., 1978.
2. Smith M.D. // Icarus. 2004. V.167. P.148.
3. Clancy R.T. et al. // Icarus. 1996. V.122. P.36.
4. Richardson M.I., Wilson R.J. // Nature. 2002. V.416. P.298.
5. Мороз В.И., Мухин Л.М. // Космические исследования. 1978. Т.15. С.901.
6. Morris R.V. et al. // Science. 2004. V.305. P.833.
7. Head J.W. et al. // Nature. 2005. V.434. P.346.
8. Bibring J.P. et al. // Nature. 2004. V.428. P.627.
9. Formisano V. et al. // Science. 2004. V.306. P.1758.
10. Krasnopolsky V.A. et al. // Icarus. 2004. V.172. P.537.
11. Жарков В.Н., Мороз В.И. Почему Марс? // Природа. 2000. №6. С.58–67.
12. Жарков В.Н. От физики Земли к сравнительной планетологии // Природа. 1998. №12. С.86–97.

Поиски воды на Марсе



И.Г.Митрофанов

Изучение Марса — одно из самых приоритетных направлений в исследовании планет Солнечной системы. Первые попытки запусков космических аппаратов к Марсу были предприняты С.П.Королевым 10 и 14 октября 1960 г. — к сожалению, оба пуска оказались неудачными. Потребовалось еще более 10 лет напряженной работы и 11 запусков, чтобы, наконец, 2 декабря 1971 г. советский космический аппарат «Марс-3» достиг цели и совершил первую мягкую посадку на поверхность Красной планеты в окрестности кратера Птоломей. 12 февраля 1974 г. советский межпланетный аппарат «Марс-5» вышел на околомарсианскую орбиту и выполнил съемку поверхности. На Землю поступили карты рельефа, на которых хорошо различались сухие русла потоков. Это позволило ученым предположить, что Марс, который в настоящее время имеет холодную и сухую поверхность, в прошлом был теплым и влажным.

По современным представлениям, Марс и Земля на ранней стадии эволюции развивались по сходным сценариям. Затем, возможно, в результате глобальной катастрофы, теплый и влажный климат раннего Марса сме-



Игорь Георгиевич Митрофанов, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией космической гамма-спектроскопии ИКИ РАН. Область научных интересов — астрофизика высоких энергий и ядерная планетология.

нился на современный сухой и холодный. При этом могла быть утрачена большая часть атмосферы. Вопросы о причинах такого катаклизма, о том, куда делась вода с поверхности и о том, успела ли на молодом влажном Марсе зародиться примитивная жизнь, — относятся к наиболее актуальным проблемам современных исследований Марса.

Задача поиска воды под сухой поверхностью Марса была успешно решена при помощи космического научного прибора HEND (High Energy Neutron Detector), созданного в России по программе Федерального космического агентства и установленного на американском космическом аппарате «Mars Odyssey» (рис.1). В этом эксперименте впервые в практике космических исследований приме-

няется метод нейтронной спектроскопии для оценки содержания воды в приповерхностном слое Марса. Картографирование прибором HEND было начато 18 февраля 2002 г. и успешно продолжается до сих пор.

Водная среда на Марсе

За 35 лет изучения Марса межпланетными космическими аппаратами получено большое количество данных, свидетельствующих о том, что поверхность и атмосфера Красной планеты сформировались в результате долгой и сложной эволюции. Поверхность изменялась как в результате столкновений с метеоритами, так и под действием вулканических, тектоничес-

© Митрофанов И.Г., 2005

ких и эрозионных процессов. Сейчас установлено, что важную роль в формировании рельефа поверхности также играли гидрологические процессы. Современные климатические условия — низкое давление и отрицательные температуры — исключают существование на поверхности Марса воды в жидкой фазе. Однако было известно, что она присутствует в виде льда постоянных полярных шапок и пара в атмосфере планеты.

Водяной лед в полярных шапках. Давление и температура на умеренных широтах Марса таковы, что летом водяной лед сублимирует в атмосферу и водяные пары в ней переносятся на полюса, действующие как холодные ловушки. В них пар может оседать на поверхность, формируя постоянные полярные шапки. Необходимо также учитывать глобальную циркуляцию атмосферной углекислоты между полюсами, приводящую к сезонным (осень и зима) выпадениям «сухого снега» из CO_2 на поверхности. Важную роль в формировании полярных шапок также играют пылевые бури, которые переносят огромные облака пыли вдоль поверхности всей планеты.

Наблюдения на американских исследовательских станциях «Viking» показали, что северная полярная шапка Марса целиком состоит из водяного льда. В южном полушарии лето теплее, но при этом гораздо короче, чем на северном. В течение южного лета углекислотный снег не успевает растаять, и водяная полярная шапка на юге круглый год покрыта слоем замерзшей углекислоты.

Полярные шапки Марса — довольно молодые образования, относящиеся к позднему Амазонийскому периоду. На основе анализа количества ударных кратеров, покрывающих южные полярные районы, было установлено, что возраст южной полярной шапки составляет 7—15 млн лет. Северная шапка гораздо моложе, ее возраст оценива-



Рис. 1. Космический аппарат НАСА «Mars Odyssey» с российским нейтронным спектрометром HEND на борту.

ется от 100 тыс. до 10 млн лет. Меньший возраст северной шапки означает, что процесс ее формирования завершился относительно недавно или продолжается до сих пор. Из этого следует, что на современном Марсе где-то существует достаточно мощный источник водяного пара, который переносится в атмосферу и оседает на северном полюсе.

Следы водных резервуаров. На Марсе с прошлых эпох сохранились характерные особенности рельефа, сформировавшиеся при скоплении и протекании огромных объемов жидкости. Еще во время первых марсианских миссий (советские межпланетные станции «Марс» и американские аппараты «Маринер») были получены данные, указывающие на существование форм рельефа, соответствующих гигантским каналам, руслам и системам долин. Недавние наблюдения, сделанные лазерным высотомером MOLA с борта орбитального аппарата НАСА «Mars Global Surveyor», обнаружили в северных районах Марса

структуры рельефа, похожие на береговые линии древнего океана. Одна из них действительно совпадает с линией постоянной высоты поверхности. Самое простое объяснение такой особенности марсианского рельефа — это равномерное осаждение грунта в большом объеме воды, находящейся в гидростатическом равновесии.

Существование океана на северных равнинах Марса в ранний период эволюции до сих пор является предметом споров и обсуждений. Начальные стадии эволюции Красной планеты слишком плохо изучены для однозначной оценки термодинамических условий, обеспечивающих стабильное существование свободной водной поверхности в течение длительного времени. Тем не менее представляется вполне вероятным, что Марс на всем протяжении своей эволюции имел достаточно большие водные ресурсы, которые в одни периоды эволюции образовывали реки, моря и океаны, а в другие — скрывались в недрах планеты, вырываясь

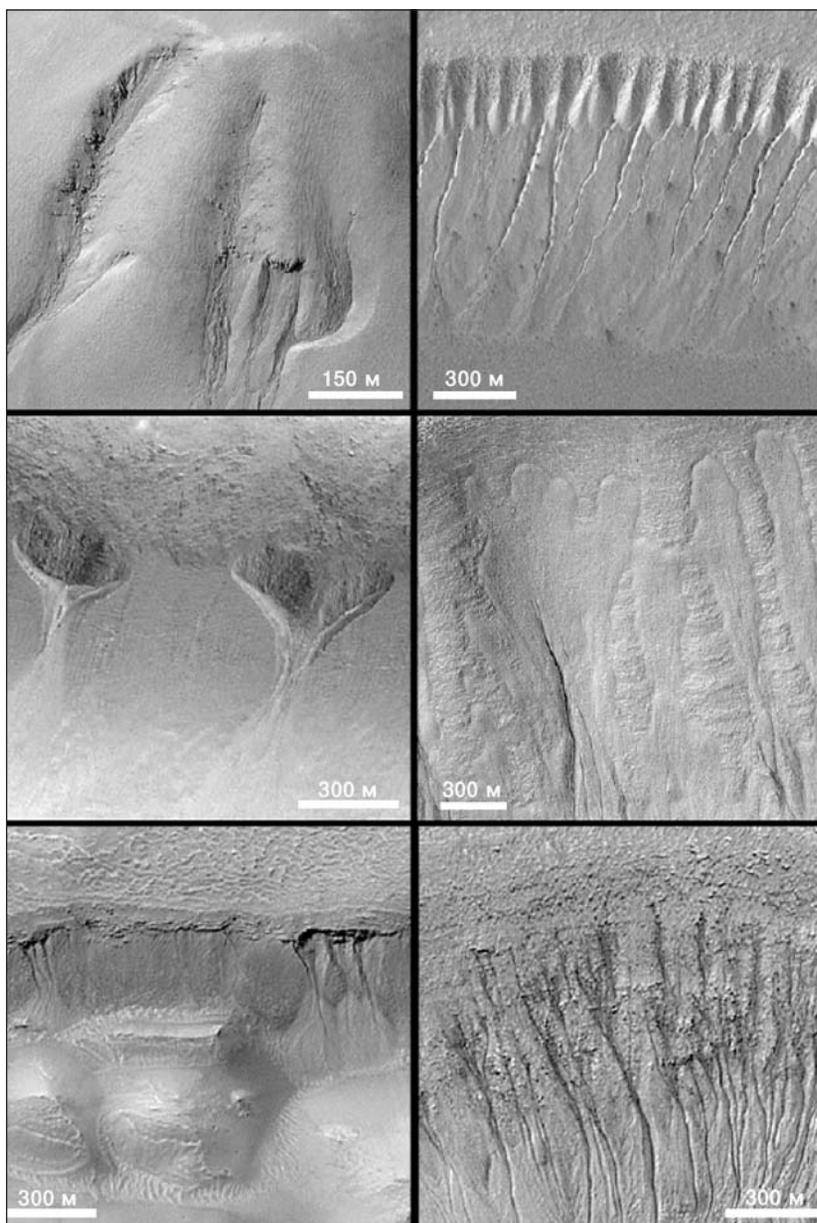


Рис.2. Фотографии высокого разрешения, сделанные орбитальной камерой МОС, установленной на аппарате «Mars Global Surveyer». На представленных снимках показаны различные формы промоин, образовавшихся в результате выбросов подповерхностной воды.

время от времени на поверхность и оставляя после себя русла протоков и промоин.

«Потоки воды» на поверхности. Очень большой интерес вызвали переданные на Землю снимки мелких деталей рельефа, выполненные орбитальной телевизионной камерой МОС, также установленной на борту

космического аппарата «Mars Global Surveyer». Этот прибор позволяет получать снимки очень высокого качества с разрешением около нескольких десятков метров. Главный вывод, сделанный на основе анализа изображений поверхности, состоял в том, что промоины на склонах, скорее всего, образо-

вались в результате недавних кратковременных выбросов сравнительно больших объемов жидкой воды из подповерхностных водяных линз.

В результате целенаправленного изучения снимков было выбрано около сотни таких мест на поверхности Марса. Обнаруженные промоины (рис.2), как правило, наблюдались на внутренних склонах ударных кратеров (треть всех наблюдений) или на стенках глубоких ложбин в южной полярной зоне (четверть наблюдений). Около половины подобных промоин находятся на южных склонах, и только 20% — на северных. Анализ рельефа местности показал, что по геологическим меркам это довольно молодые образования. Их возраст составляет не более нескольких миллионов лет. Следовательно, эпизодическая гидрологическая активность на Красной планете происходит и сейчас.

Метод нейтронной спектроскопии для изучения состава поверхности планет

Основное преимущество применения ядерных методов в изучении планет — получение достоверной информации о химическом составе приповерхностных (на глубине 1–2 м) слоев грунта. Гамма- и нейтронное излучение планет с тонкими атмосферами (или без атмосфер) может регистрироваться гамма-спектрометрами и нейтронными детекторами на орбитальных космических аппаратах. В зависимости от продолжительности миссии и от высоты орбиты космического аппарата можно построить глобальные карты нейтронного излучения всей планеты или измерить поток нейтронов от отдельных участков ее поверхности.

Ядерная планетология разрабатывалась А.П.Виноградовым и Ю.А.Сурковым в СССР и Дж.Арнольдом и Дж.Тромбкой в США

в самом начале космической эры. Впервые гамма-излучение с поверхности Луны было измерено в апреле 1966 г. с борта советской станции «Луна-10» [1–3].

Впоследствии подобные эксперименты проводились на американских лунных миссиях «Apollo» в 1971 и 1972 гг. Тогда был получен большой объем данных об элементном составе поверхности Луны [4]. Приоритетные измерения элементного состава поверхности Марса выполнялись с помощью гамма-спектрометра на основе CsI(Tl), установленного на космическом орбитальном аппарате «Марс-5», а еще через 10 лет информация о составе приповерхностных слоев Марса была получена космическим аппаратом «Фобос-2» с орбиты над поверхностью Красной планеты [5, 6]. После этих миссий произошло несколько неудачных попыток полетов к Марсу в США и России, при которых были потеряны космические аппараты, имевшие на своем борту гамма-спектрометры и нейтронные приборы. В апреле 2001 г. на американском межпланетном аппарате «Mars Odissey» ученые получили возможность воспроизвести часть приборов, погибших в предыдущих миссиях. На аппарате «Mars Odissey» был установлен комплекс научной аппаратуры GRS [7], который включает германиевый спектрометр (GS), разработанный в университете штата Аризона (США), нейтронный спектрометр низких энергий (NS), разработанный в Национальной лаборатории в Лос-Аламосе (США), а также российский прибор HEND, созданный в Институте космических исследований РАН.

Возникновение вторичного гамма-излучения и нейтронного потока от поверхности Марса связано с облучением вещества потоком галактических космических лучей. Плотная атмосфера Земли полностью поглощает гамма- и нейтронное излучения. На Марсе же средняя тол-

щина атмосферы (поверхностная плотность) составляет всего около 15 г/см², и она практически прозрачна для космических лучей и возникающего на поверхности ядерного излучения.

При взаимодействии высокоэнергетичных протонов космических лучей с веществом поверхности на глубине 1–2 м образуются вторичные нейтроны высоких энергий 15–20 МэВ (рис.3). Выходя на поверхность, они сталкиваются с ядрами основных породообразующих элементов и возбуждают их. Спектр гамма-излучения возбужденных ядер характеризует химический состав поверхности планеты. Нейтронная спектроскопия — неотъемлемая часть ядерных измерений, необходимая для однозначного восстановления элементного состава вещества по данным о потоках излучения в ядерных гамма-линиях. Кроме того, измерение потока нейтронного излучения планеты представляет собой самостоятельную научную задачу, при решении которой можно определить наличие в приповерхностном слое водородосодержащих химических соединений.

Спектр вторичных нейтронов в зависимости от их энергии можно разделить на две части. Тепловые нейтроны с энергиями меньше 1 эВ подчиняются равновесному распре-

делению Максвелла, в то время как спектры надтепловых частиц (энергия нейтронов в диапазоне 1 эВ — 100 кэВ) и быстрых нейтронов (энергия нейтронов выше 100 кэВ) следуют степенному закону (рис.4). Соотношение потоков надтепловых, быстрых и тепловых нейтронов зависит от эффективности процесса замедления нейтронов, который, в свою очередь, определяется относительным содержанием в веществе легких элементов. Чем меньше атомный вес ядер, тем эффективней замедляются нейтроны при столкновениях с ними. Максимальный эффект достигается при столкновениях с ядрами водорода, масса которых равна массе нейтрона. Присутствие в грунте даже относительно небольшого количества атомов водорода приводит к существенному ослаблению потока надтепловых и быстрых нейтронов и соответственно к увеличению их потока в тепловой части спектра [8]. Расчеты показывают, что добавление 0.1 % массовой доли водорода в вещество приповерхностного слоя планеты достаточно, чтобы понизить поток надтепловых нейтронов в два раза, а поток тепловых нейтронов увеличить в 10 раз (рис.4). Ослабление потока надтепловых нейтронов от участка поверхности

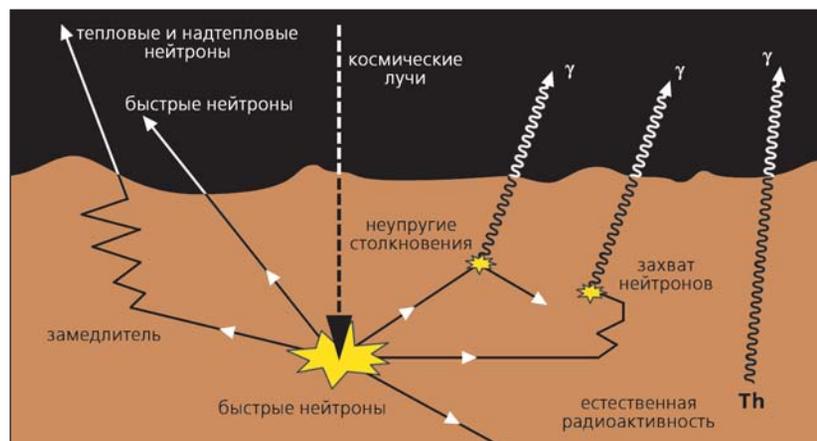


Рис.3. Схема возникновения ядерного излучения в приповерхностных слоях планеты под воздействием космических лучей.

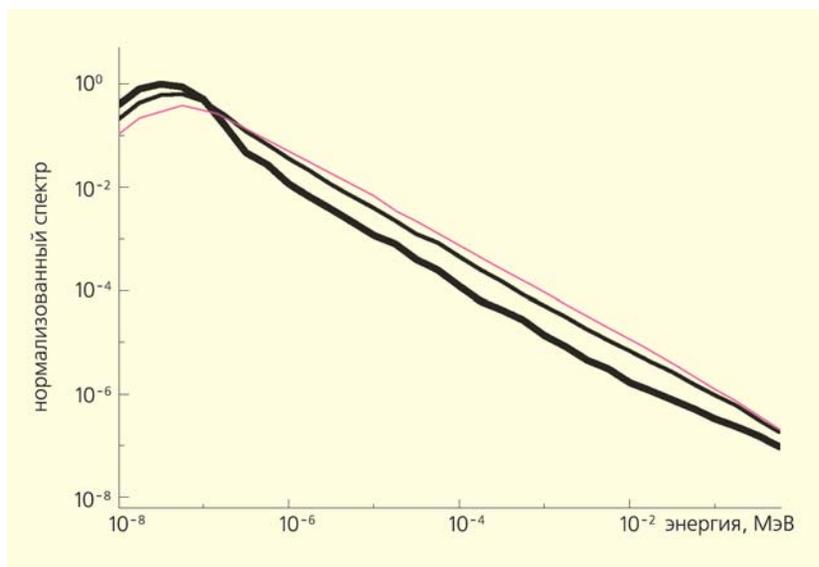


Рис.4. Спектры потока нейтронов с поверхности Марса. Цветной линией показан сухой грунт, тонкой и толстой — с содержанием воды 1 и 10% соответственно.

планеты является свидетельством присутствия в грунте водорода.

Российский прибор на борту американского марсианского аппарата

Детектор нейтронов высоких энергий HEND разработан в лаборатории космической гамма-спектроскопии ИКИ РАН. Для реализации этого эксперимента была образована кооперация, включающая различные научные и производственные центры России. Кроме ИКИ РАН, в нее входили Объединенный институт ядерных исследований (г.Дубна Московской обл.) и Специальное конструкторское бюро космического приборостроения (г.Таруса Калужской обл.). Установка прибора HEND на борт американского космического аппарата «Mars Odyssey» была предусмотрена межправительственным Исполнительным соглашением между НАСА и Федеральным космическим агентством России.

Физическая концепция прибора HEND выбрана таким образом, чтобы в условиях ограниченного веса (до 4 кг) «перекрыть» максимально широкий спектральный интервал энергий регистрируемых нейтронов от 0.4 эВ до 15 МэВ с максимальной чувствительностью, достаточ-

ной для однозначной интерпретации полученных результатов. Три детектора надтепловых нейтронов SD, MD и LD были созданы на основе пропорциональных счетчиков нейтронов, содержащих ^3He . Эти счетчики, окруженные разными слоями замедлителя из полиэтилена и экранами из кадмия (рис.5), регистрируют тепловые нейтроны в реакциях захвата ядрами изотопа гелия ^3He с образованием трития и протона и с выделением 764 кэВ энергии. Внешние тепловые нейтроны с энергиями менее 0.4 эВ поглощаются кадмием и не попадают в счетчики. В зависимости от толщины слоя замедлителя детекторы SD, MD и LD имеют максимумы чувствительности для надтепловых нейтронов с разными энергиями. Детектор LD с самым толстым (около 30 мм) слоем замедлителя наиболее чувствителен к нейтронам с энергиями 10 эВ — 1 МэВ. Детектор MD с замедлителем толщиной 14 мм лучше всего регистрирует нейтроны с энергиями 10 эВ — 100 кэВ. Детектор с самым тонким замедлителем в 3 мм регистрирует в основном нейтроны с энергиями от «кадмиевого по-



Рис.5. Прибор HEND на борту космического аппарата «Mars Odyssey» за 20 дней до старта.

рога» 0.4 эВ до 1 кэВ. Таким образом, набор из трех детекторов позволяет «перекрыть» широкий диапазон энергий нейтронов от 0.4 эВ до 1 МэВ.

Кроме того, в приборе HEND используется детектор IN/SC на основе органического сцинтиллятора из стиблена (рис.5), регистрирующего быстрые нейтроны высоких (более 0.8 МэВ) энергий по вспышкам света от протонов отдачи, которые выбиваются энергичными нейтронами из кристаллической решетки органического кристалла. В условиях космической среды стиблен будет регистрировать не только протоны отдачи от нейтронов, но также заряженные частицы космических лучей и вторичные электроны, произведенные фотонами гамма-излучения. Проблема дифференциального учета импульсов от протонов и электронов была решена на основе анализа формы сигнала от сцинтилляционных вспышек, которые существенно различаются для этих частиц. Возможный ошибочный учет электронного сигнала соответствует вероятности на уровне $5 \cdot 10^{-4}$. Разделение протонов отдачи от первичных протонов космических лучей проводилось методом антисовпадетельной защиты с использованием дополнительного «внешнего» сцинтилляционного детектора OUT/SC из CsI.

Все четыре детектора нейтронов прибора HEND максимально разнесены и развернуты друг относительно друга. При этом они имеют наилучшие поля зрения в условиях полета космического аппарата по круговой полярной орбите (рис.1, 5).

Районы Марса с высоким содержанием воды

Полученные карты нейтронного излучения Марса [9–12] характеризуют пространственные вариации потока нейтронов

над атмосферой на высоте орбиты около 400 км (рис.6). Первая карта соответствует энергетическому интервалу надтепловых нейтронов. Вторая — быстрых нейтронов с энергиями 0.85–2.5 МэВ. Атмосфера Марса практически прозрачна для этих нейтронов. Численные расчеты показали, что изменение поверхностной плотности атмосферы от 5 до 25 г/см² может из-

менить поток выходящих нейтронов не более чем на 15% относительно среднего значения. Измерения с орбиты указывают на гораздо большие вариации потока нейтронов над разными участками поверхности Марса. Следовательно, основной вклад в переменность потока нейтронов на орбите вносят региональные вариации потока нейтронов на поверхности.

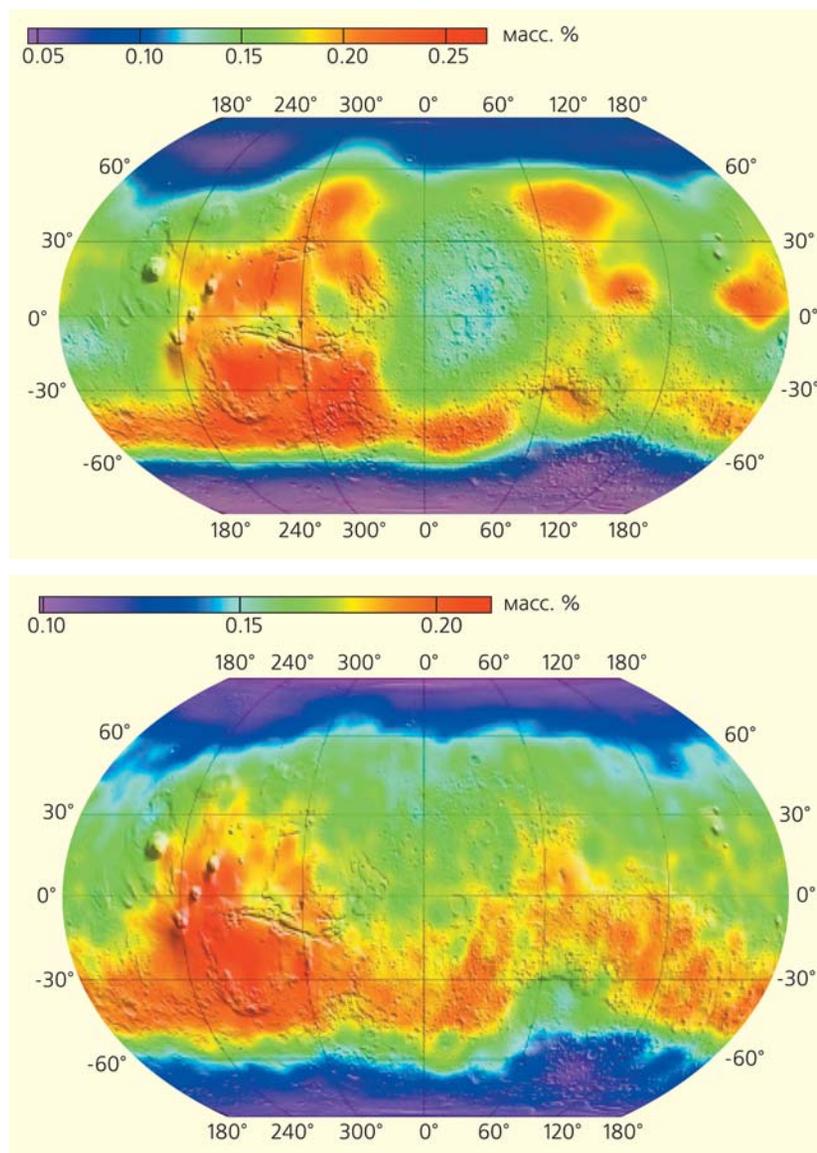


Рис.6. Карта потока надтепловых (вверху) и быстрых (0.85–2.5 МэВ) нейтронов на орбите космического аппарата «Mars Odyssey», по данным прибора HEND. Цветовая шкала соответствует отсчетам за секунду в детекторе MD. Измерения проводились для сезонных интервалов с $L_s = 100-180^\circ$ для широт $>50^\circ$ с.ш., $L_s = 0-180^\circ$ для широт от 50° ю.ш. до 50° с.ш. и $L_s = 330-20^\circ$ для широт $>50^\circ$ ю.ш.

Для изучения состава грунта необходимо использовать только данные, полученные в условиях марсианского лета, когда на поверхности планеты отсутствует сезонный слой осажденной углекислоты. Карты орбитальных измерений потока надтепловых и быстрых нейтронов (рис. 6) составлены из трех частей: северная ($>50^\circ$ с.ш.) соответствует сезонному интервалу лета на севере, экваториальная (50° ю.ш. — 50° с.ш.) — всему периоду наблюдений и южная ($>50^\circ$ ю.ш.) — лету на юге. Пространственные вариации нейтронного потока, представленные на картах, отображают состав приповерхностных слоев грунта.

На картах нейтронного излучения Марса в районе Плато Солнца (координаты его центра соответствуют 265° в.д. и 25° ю.ш.) наблюдается абсолютный максимум потока надтепловых и быстрых нейтронов. Вероятно, содержание воды в грунте здесь минимально. Напротив, минимальный поток нейтронов наблюдается в высокоширотных областях как на севере, так и на юге планеты (рис. 6). Динамический диапазон переменности потока в разных районах поверхности соответствует факторам около 10 для надтепловых нейтронов и около 3 для быстрых нейтронов. Такая значительная региональная переменность нейтронного потока от Марса оказалась полной неожиданностью. Данные нейтронных наблюдений Луны [13] соответствовали величине региональной переменности нейтронов ~20%. Такая региональная переменность на Луне возникает вследствие различия состава породообразующих элементов грунта и небольших изменений в концентрации водорода (50—100 ppm). Измерение величины потока надтепловых нейтронов от Марса более чем на порядок говорит о принципиальном различии грунтов Луны и Марса. Расчеты нейтронного потока показывают, что грунт некоторых районов Марса дол-

жен содержать очень много водорода (до нескольких процентов по массе).

Известно только одно химическое вещество, которое в марсианских условиях может объяснить такое высокое содержание водорода в грунте, — это вода. Наличие небольшого количества водяного пара в атмосфере, присутствие водяного льда в полярных шапках, признаки спорадических потоков на поверхности — все это указывает на H_2O как на единственное водородсодержащее вещество, которое может присутствовать в достаточно большом количестве в грунте Марса. Одна весовая масса водорода соответствует девяти весовым массам воды. Поэтому вывод о наличии в грунте 3—5 масс.% водорода равносильно выводу о наличии в грунте 30—50 масс.% воды. В высокоширотных районах на севере и на юге Марса с низким потоком нейтронов именно водяной лед может рассматриваться в качестве основного породообразующего вещества.

Состав грунта в северной области вечной мерзлоты. Карта содержания водяного льда в северном полушарии получена на основе обработки данных измерений прибора HEND для 74 отдельных участков поверхности (рис.7). Высокое содержание воды (более 50 масс.%) наблюдается во всем полярном секторе от 270° до 90° в.д. Таким образом, данные прибора HEND подтверждают, что северная полярная шапка состоит в основном из водяного льда. Высокое содержание водяного льда в грунте (>30 масс.%) также установлено для обширных территорий далеко за пределами постоянной полярной шапки. В восточном секторе от 0° до 180° в.д. граница содержания водяного льда на уровне 20 масс.% проходит вдоль широтного пояса 67° с.ш. В западном секторе от 210° до 240° в.д. этот уровень опускается до 60° с.ш. Максимальное содержание водяного льда (>35 масс.%) вне постоян-

ной полярной шапки обнаружено в районе с координатами 70° с.ш., 220° в.д. (рис.7).

Таким образом, на севере Марса находится обширный район вечной мерзлоты с очень высоким содержанием водяного льда. Сопоставление данных для надтепловых и быстрых нейтронов (рис.6) показывает, что содержание льда вечной мерзлоты в приповерхностном слое толщиной 1—2 м практически не изменяется с глубиной.

Структура грунта в южной области вечной мерзлоты. На юге Марса также наблюдается обширная территория с очень низким потоком нейтронов. Здесь находится южная вечная мерзлота с высоким содержанием водяного льда, с границей вдоль широтного пояса 60° ю.ш. Однако для этой территории модель грунта с однородным содержанием водяного льда по глубине не согласуется с данными наблюдений [9—12]. Для интерпретации данных необходимо использовать двухслойную модель: слой грунта с высоким содержанием воды (первый свободный параметр) покрыт сверху слоем сухого грунта переменной толщины (второй свободный параметр). Оказалось, что использование двухслойной модели приводит к хорошему согласию с наблюдательными данными. Было показано, что сухой грунт на поверхности имеет плотность около $16\text{--}35$ г/см² (рис.8). Среднее содержание водяного льда в нижнем слое выше широты 70° ю.ш. практически не меняется и составляет более 40 масс.% (рис.7). На широте около 60° ю.ш. содержание водяного льда составляет 20 масс.%. Получается, что доля водяного льда в грунте вечной мерзлоты на севере и юге примерно одинакова. Различие состоит в том, что на юге лед не выходит на поверхность, а покрыт относительно тонким слоем сухого грунта. Можно предположить, что в настоящее время на Марсе происходит глобальное изме-

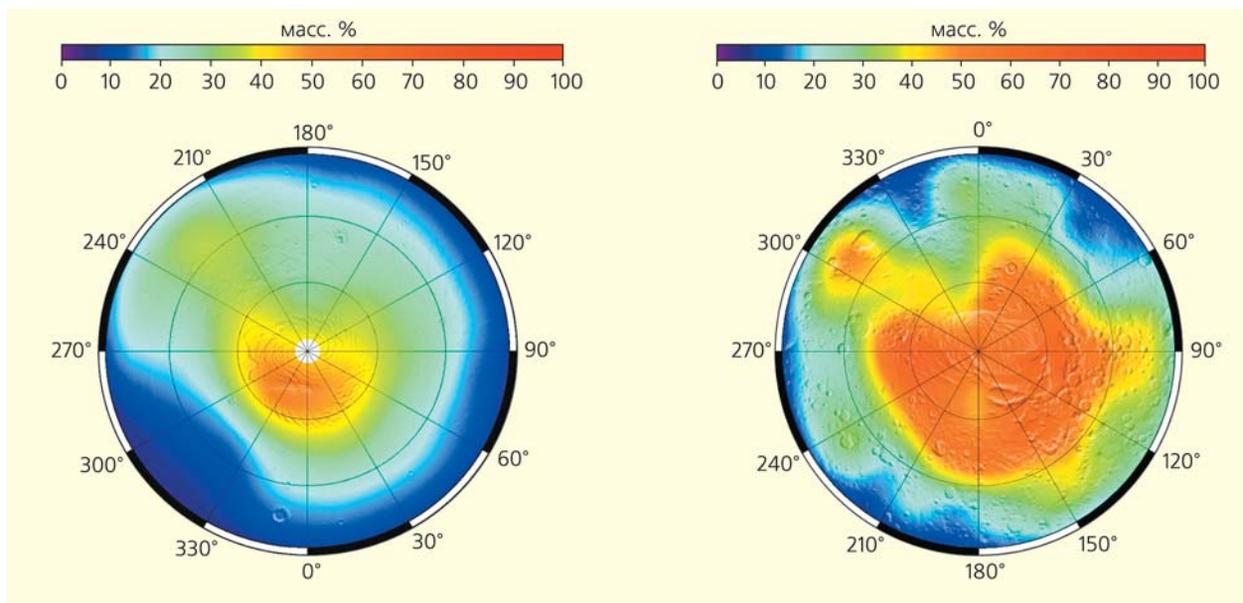


Рис.7. Распределение содержания водяного льда (масс. %) на Марсе для северного района «ледяной мерзлоты» выше 60°с.ш. (слева), по данным однородной модели, и для южного района, по данным двухслойной модели.

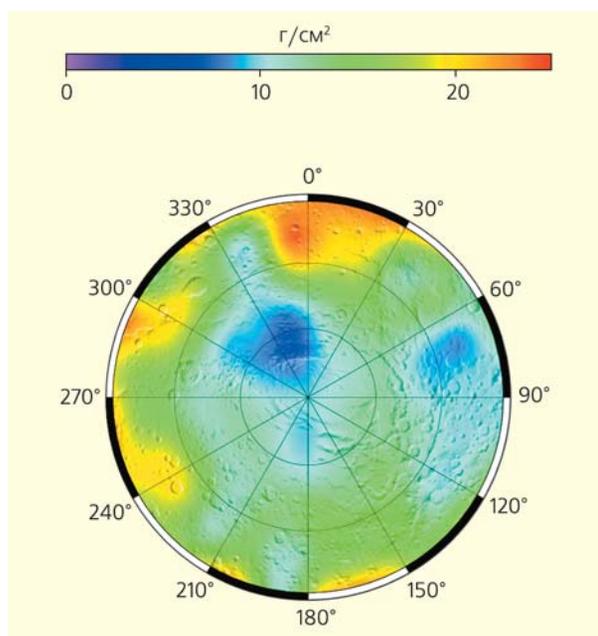


Рис.8. Распределение поверхностной плотности верхнего сухого слоя в южном районе «ледяной мерзлоты» на Марсе, по данным двухслойной модели.

рение климата, при котором водные ресурсы планеты перераспределяются с юга на север.

Следует отметить, что на карте содержания воды под поверхностью Марса никак не выделяется область южной постоянной полярной шапки, лежащая в секторе 270—360°в.д. выше 80°ю.ш.. Если южная шапка состоит из замерзшей углекислоты, она должна выделяться ярким пятном нейтронного излучения, так как в сухом веществе с малым содержанием водо-

рода эффективно генерируются нейтроны надтепловых энергий. Данные измерений для зимнего сезона показывают, что даже метровый слой замерзшей углекислоты на поверхности приводит к увеличению потока нейтронов примерно в 5 раз [14]. Напротив, если основную массу постоянной полярной шапки составляет водяной лед, то над южным полюсом должно наблюдаться заметное ослабление нейтронного потока. Ни того, ни другого не происходит.

Следовательно, южная полярная шапка содержит под тонким слоем замерзшей углекислоты примерно такое же количество водяного льда, что и окружающей ее грунт вечной мерзлоты.

Экваториальные районы с высоким содержанием воды. Кроме северной и южной областей вечной мерзлоты, на карте (рис.6) вблизи экватора хорошо заметны два обширных района с низким потоком надтепловых нейтронного излучения. Первый район находится

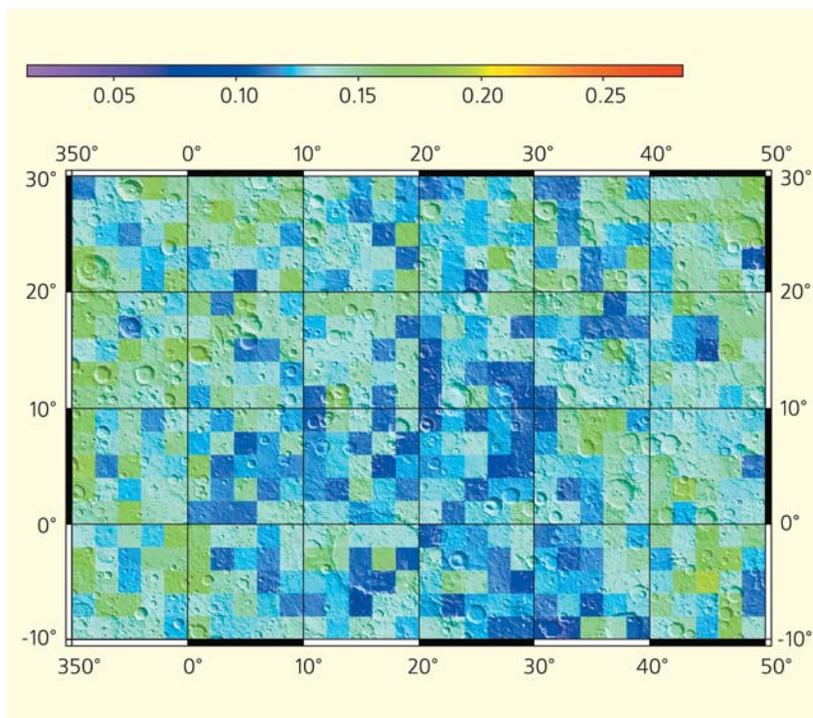


Рис.9. Поток надтепловых нейтронов в районе Аравии с пространственным разрешением 2°. Цветная шкала соответствует отсчетам за 1 с в детекторе MD. Область с минимальным потоком надтепловых нейтронов (и, соответственно, с самым высоким содержанием воды в грунте) имеет координаты около 30° в.д. и 10° с.ш.

в провинции Аравия (50–350° в.д.). Второй район — Борозды Медузы — расположен диаметрально противоположно (180–210° в.д.). Известно, что в этих двух районах поверхность покрыта очень рыхлыми отложениями. Этот факт в сочетании с их антиподальностью позволил предположить, что в далеком геологическом прошлом в них находились географические полюса планеты [15–16].

Поток надтепловых нейтронов в районах Аравии и Борозд Медузы снижается почти в три раза по сравнению с Плато Солнца (рис.6). Если принять содержание воды в грунте однородным по глубине, то ее массовая доля достигает 10% (при условии, что в сухих районах Плато Солнца содержание воды в среднем составляет около 2%). Эта оценка близка к максимально допустимому содержанию

химически связанной воды в грунте Марса, и поэтому есть основание предполагать, что грунт в этих районах в течение продолжительного геологического времени находился в прямом контакте с водой. Напротив, на карте быстрых нейтронов видимых ослаблений потока в приэкваториальной зоне не наблюдается (рис.6). Вероятно, это связано с тем, что быстрые нейтроны образуются в самом верхнем (около 20 см) слое поверхности, в котором содержание воды гораздо меньше, чем на глубине.

Оценка содержания воды является средней величиной, полученной с поверхности размером около 600 км. Это означает, что на некоторых участках районов Аравии и Борозд Медузы содержание воды в грунте может быть гораздо выше. На рис.9 представлена карта ней-

ронного излучения района Аравии с пространственным разрешением 2°. Абсолютный минимум потока нейтронов на экваторе наблюдается в районе с координатами 30° в.д., 10° с.ш. в окрестности кратера Араго примерно посередине между крупными кратерами Анри и Тихонравова. Содержание воды в этом районе, согласно двухслойной модели, составляет около 16 масс.% в нижнем слое под сухим грунтом толщиной всего около 18 см. Эта величина близка к максимально допустимой оценке содержания химически связанной воды в веществе грунта и допускает предположение о наличии в нижнем слое грунта водяного льда.

Однако присутствие водяного льда в грунте вблизи экватора трудно объяснить. Дело в том, что на экваторе водяной лед на небольшой глубине должен быстро сублимировать в атмосферу. Объяснить его существование здесь можно очень низкой теплопроводностью грунта, когда суточный прогрев достигает совсем небольшой глубины. Низкую тепловую инерцию обычно имеют глинистые осадочные породы. Действительно, области с низкой тепловой инерцией пересекаются с влажными районами Аравии и Борозд Медузы, однако их границы не вполне совпадают. Во-первых, области с низкой тепловой инерцией гораздо больше влажных районов. Это говорит о том, что низкая тепловая инерция — необходимое условие существования водяного льда, но недостаточное. Во-вторых, в некоторых участках влажные районы лежат за пределом областей грунта с низкой тепловой инерцией. Это означает, что участки с высокой влажностью могут иметь различный состав. В одних участках повышенная влажность может быть связана с высоким содержанием химически связанной воды, а в других — с наличием в грунте свободного водяного льда.

Мобильная гидроразведка поверхности Марса

Выполненные российским прибором HEND глобальные наблюдения потока нейтронов от поверхности Марса позволили надежно установить наличие больших количеств воды в грунте планеты в обширных областях северной и южной вечной мерзлоты и в двух антиподальных районах вблизи экватора. Обнаружение воды в грунте за пределами полюсов существенно изменило наши представления о природной среде Марса. Современный Марс — холодная, но не сухая планета. Этот вывод существенно повлияет на будущие программы исследования и освоения планеты.

Во-первых, получила наблюдательное подтверждение гипотеза о существовании подземных ледниковых пластов на Марсе [17]. Будущим исследователям предстоит оценить полную массу водяной криолитосферы Марса, но факт ее существования можно считать установленным. Во-вторых, наличие воды в грунте ставит вопрос о возможности зарождения и сохранения примитивных форм жизни. Данные прибора HEND показали, что под спускаемым

аппаратом НАСА «Viking-2» на глубине всего несколько сантиметров находится водяной лед. Очевидно, что поиски признаков биологической активности на Марсе будут основываться на данных орбитальной гидроразведки и ориентироваться на изучение грунта под поверхностью планеты. В-третьих, вода — важнейший природный ресурс для полетов людей на Марс. Будущие базы на Марсе должны создаваться с учетом данных о содержании доступной воды в грунте, причем особенный интерес представляют богатые водой районы Аравии и Борозд Медузы на умеренных широтах планеты.

Разработка и успешная реализация эксперимента с российским прибором HEND создали предпосылки для расширения научных исследований планет на основе передовых ядерных технологий. Следующий российский нейтронный прибор DAN (Detector of Albedo Neutrons) отправится на поверхность Марса в 2009 г. Этот прибор предназначен для марсохода «Mars Science Laboratory» (MSL) НАСА. В эксперименте впервые в практике планетных исследований будет применен метод нейтронного активационного анализа грунта для изуче-

ния его состава. DAN содержит импульсный генератор нейтронов 14 МэВ, который испускает 10^7 частиц в импульсе. Полный ресурс генератора около 10^7 импульсов. Генератор прибора DAN будет разработан во Всероссийском институте автоматизации им.Н.Л.Духова, а блок электроники и детекторы для регистрации вторичных альбедных нейтронов от поверхности — в ИКИ РАН. MSL — долгоживущий марсоход с большим радиусом действия около 30 км. Российский эксперимент с прибором DAN позволит разведать содержание водорода в грунте вдоль трассы движения марсохода, обнаружить богатые водой участки поверхности с пространственным разрешением около 1 м, собрать образцы грунта с высоким содержанием воды и выполнить их исследования *in situ*.

Начиная с 50-х годов прошлого века, в СССР был накоплен уникальный научно-исследовательский потенциал, объединяющий достижения космической техники и ядерных технологий. Сейчас, благодаря этому наследству, в нашей стране создается аппаратура, которая сможет сыграть ключевую роль в будущих исследованиях Марса и других планет Солнечной системы. ■

Литература

1. Виноградов А.П., Сурков Ю.А., Чернов Г.М. и др. Космические исследования. Т. 4. М., 1966. С.871.
2. Сурков Ю.А. Гамма-спектрометрия в космических исследованиях. М., 1977.
3. Сурков Ю.А. Космохимические исследования планет и спутников. М., 1985.
4. Adler I., Trombka J., Louman P. et al. // The Moon. 1973. V.7. P.487—504.
5. Surkov Yu.A., Barsukov V.L., Moskalyova L.P. et al. // Nature. 1989. V.341. P.595—598.
6. D'Uston C., Atteia J.L., Barat C. et al. // Nature. 1989. V.341. P.598—600.
7. Boynton W., Feldman W., Mitrofanov I.G. et al. // Space Sci. Rev. 2004. V.110 (1). P.37.
8. Drake D.M., Feldman W.C., Jakosky B.M. // J. Geophys. Res. 1988. V.93. P.6353—6368.
9. Mitrofanov I.G., Anfimov D.A., Kozыrev A.S. et al. // Science. 2002. V.297. P.78—81.
10. Mitrofanov I.G., Zuber M., Litvak M.L. et al. // Science. 2003. V.300. P.2081—2084.
11. Митрофанов И.Г., Литвак М.Л., Козырев А.С. и др. // Астрон. вестн. 2003. Т.37. №5. С.400.
12. Митрофанов И.Г., Литвак М.Л., Козырев А.С. и др. // Астрон. вестн. 2004. Т.38. №4. С.253.
13. Feldman W.C., Maurice S., Binder A.B. et al. // Science. 1998. V.281. P.1496—1500.
14. Литвак М.Л., Митрофанов И.Г., Козырев А.С. и др. // Астрон. вестн. 2003. Т.37. №5. С.413.
15. Schultz P.H., Lutz A.B. // Icarus. 1988. V.73. P.91—141.
16. Базилевский А.Т., Литвак М.Л., Митрофанов И.Г. // Астрон. вестн. 2003. Т.37. №5. С.423—434.
17. Кузмин Р.О., Забалуева Е.В., Митрофанов И.Г. и др. // Астрон. вестн. 2004. Т.38. №1. С.1—13.

Спутниковый мониторинг бореальных экосистем



С.А.Барталев, Е.А.Лупян

Существуют многочисленные свидетельства тесной взаимосвязи стремительно нарастающих глобальных изменений климата планеты с процессами трансформации биосферы. Особенно заметно они проявляются в бореальном (северном) поясе планеты и, в частности, в Северной Евразии. Известно, что даже недолговременные климатические вариации напрямую влияют на продуктивность экосистем, на интенсивность таких возмущающих экосистемы факторов, как степные и лесные пожары и вспышки размножения насекомых-фитофагов, а косвенно — на хозяйственную активность человека. Динамика растительного покрова оказывает воздействие на климат посредством изменения энерго- и водообмена, а также биогеохимических циклов. Вариации площади, структурных характеристик и видового состава лесов и других типов растительного покрова приводит к увеличению или уменьшению альbedo подстилающей поверхности и, следовательно, к перераспределению потоков солнечной энергии между коротковолновым отраженным и длинноволновым тепловым излучением. Вследствие изменений продуктивности наземных



Сергей Александрович Барталев, кандидат технических наук, заведующий лабораторией мониторинга бореальных экосистем ИКИ РАН. Область научных интересов — дистанционное зондирование растительности, методы обработки спутниковых данных, глобальная экология, изменения климата.



Евгений Аркадьевич Лупян, доктор технических наук, заместитель директора и заведующий отделом технологий спутникового мониторинга того же института. Специалист в области дистанционного зондирования, методов технологии автоматической обработки и архивации спутниковых данных, создания систем мониторинга окружающей среды, разработки информационных систем.

экосистем меняются также структуры и скорости биогеохимических циклов, что в свою очередь отражается на составе атмосферы и характеристиках климата.

Существующие в настоящее время спутниковые приборы и методы анализа данных дистанционного зондирования позволяют регулярно получать оценки многих характеристик рас-

тительного покрова, необходимых для исследований изменений климата и биосферы (табл.1, 2), и прогнозировать последние с помощью моделирования. Отметим также, что во многих случаях выявление и исследование крупномасштабных изменений растительного покрова возможно только на основе спутниковых методов, поскольку они при глобальном ох-

© Барталев С.А., Лупян Е.А., 2005

Таблица 1

Приоритетные направления спутникового мониторинга наземных экосистем для исследований изменений климата и биосферы

Основные задачи	Наблюдаемые объекты и явления	Оцениваемые характеристики
Картографирование и оценка структуры наземных экосистем	Растительный покров различных биомов Водно-болотные комплексы Не покрытые растительностью земли Гидрографические объекты	Растительность: жизненные формы тип вегетативных органов тип фенологической динамики видовой состав возрастная структура
Оценка биофизических и биохимических характеристик растительности	Растительный покров	Надземная биомасса: индекс листовой поверхности доля поглощенной ФАР* и объем первичной продукции концентрация хлорофилла трехмерная структура растительного покрова
Оценка возмущающих воздействий на растительность	Растительные пожары Вырубки лесов Факторы биотического воздействия Факторы техногенного воздействия Восстановительная динамика растительности	Тип фактора воздействия: площадь повреждений типы поврежденной растительности время события степень повреждений скорость восстановления растительности после воздействия
Оценка характеристик землепользования	Пахотные земли Пастбища Леса	Режимы и интенсивность сельскохозяйственного и лесохозяйственного использования земель
Оценка фенологических ритмов наземных экосистем	Фенологическая динамика экосистем	Продолжительность: залегания снежного покрова вегетационного сезона Сроки наступления фенологических фаз развития
Оценка многолетних трендов состояния наземных экосистем	Границы биомов и зоны перехода между биомами Структура растительного покрова Биофизические характеристики растительности Режимы землепользования Возмущающие воздействия на растительность Фенологические ритмы растительности	Наличие трендовой динамики Направление трендовой динамики Скорость трендовой динамики
Оценка физических характеристик поверхности	Все типы наземных экосистем	Альbedo поверхности Температура поверхности Влагосодержание растительного и почвенного покровов

* ФАР — фотосинтетически активная радиация, т.е. используемая при фотосинтезе часть солнечной радиации с длинами волн 0.38–0.71 мкм.

вате планеты данными наблюдений позволяют получать многие детальные характеристики земной поверхности.

При картографировании растительного покрова — основного компонента наземных экосистем — учитывают такие характеристики растительности, как жизненные формы (деревья, кустарники, травы, мхи и лишайники), типы вегетативных органов (хвойные, лиственные) и фенологической динамики (вечнозеленые, листопад-

ные), видовой состав и возрастную структуру лесов.

Адекватное описание и моделирование процессов энерго-массообмена в системе растительность—атмосфера тесно связано с получением оценок биофизических и биохимических характеристик растительного покрова, таких как биомасса, площадь листовой поверхности, объем чистой первичной продукции, доля поглощаемой фотосинтетически активной радиации, концентрация хлорофилла,

трехмерная структура растительности. Эти характеристики чрезвычайно важны для определения компонентов углеродного цикла в наземных экосистемах, включая запас углерода и скорость его накопления экосистемой.

Оценка факторов возмущающего воздействия на растительность — приоритетная составляющая спутникового мониторинга наземных экосистем, поскольку такого рода воздействия в значительной мере оп-

Таблица 2

Возможности спутниковых приборов наблюдения Земли в оптическом диапазоне длин волн для мониторинга наземных экосистем

Основные задачи	Спутниковые приборы			
	Низкое разрешение (~1 км)	Среднее разрешение (250–500 м)	Высокое разрешение (20–50 м)	Детальное разрешение (1–5 м)
Картографирование экосистем	NOAA-AVHRR SPOT-Vegetation Terra/Aqua-MODIS	Terra/Aqua-MODIS Envisat-MERIS	Landsat-TM/ETM+ Terra-ASTER SPOT- HRV/HRVIR Meteop-3M/MCY-Э IRS-LISS	IKONOS Quick-Bird SPOT-HRG IRS-PAN
Оценка биофизических и биохимических характеристик растительности:				
зеленой биомассы	-//-	-//-	-//-	—
концентрации хлорофилла	—	Envisat-MERIS	—	—
трехмерной структуры растительности	SPOT-Vegetation	Terra-MISR Terra/Aqua-MODIS	—	—
Оценка возмущающих воздействий:				
действующих пожаров	NOAA-AVHRR Terra/Aqua-MODIS	Terra/Aqua-MODIS	Landsat-TM/ETM+ Terra-ASTER	—
последствий пожаров	NOAA-AVHRR SPOT-Vegetation Terra/Aqua-MODIS	-//-	Landsat-TM/ETM+ Terra-ASTER SPOT-HRV/HRVIR Meteop-3M/MCY-Э IRS-LISS	IKONOS Quick-Bird SPOT-HRG IRS-PAN
последствий воздействия биотических и техногенных факторов	-//-	-//-	-//-	-//-
вырубки лесов	—	-//-	-//-	-//-
Оценка землепользования	NOAA-AVHRR SPOT-Vegetation Terra/Aqua-MODIS	-//-	-//-	-//-
Оценка фенологических ритмов экосистем	-//-	-//-	—	—
Оценка многолетних трендов состояния экосистем	-//-	-//-	Landsat-TM/ETM+ SPOT- HRV/HRVIR	—
Оценка физических характеристик поверхности	NOAA-AVHRR Terra/Aqua-MODIS	-//-	Landsat-TM/ETM+ Terra-ASTER	—

ределяют потоки углерода между наземными экосистемами и атмосферой, характеристики энерго- и водообмена. Методы получения таких оценок основаны на выявлении изменения характеристик растительного

покрова с использованием временных серий данных спутниковых наблюдений. Ныне они используются для изучения, например, пожаров, вырубок лесов, гибели растительного покрова из-за вспышек массового

размножения насекомых, а также деградации и гибели растительности в результате техногенных загрязнений.

Оценка характеристик землепользования включает определение площадей и режимов

сельскохозяйственного использования пахотных земель и пастбищ, а также лесов, находящихся под интенсивным управлением человеком. Получение такой информации необходимо, поскольку методы и интенсивность обработки почв в значительной мере влияют на потоки углерода в атмосферу, альbedo поверхности и испарение почвенной влаги. Лесные насаждения с интенсивным ведением лесного хозяйства по своим продукционным характеристикам, породной и возрастной структуре могут отличаться от естественных лесных экосистем, что также отражается на параметрах энергомассообмена с атмосферой. Изменения такого рода вызываются также и переменами характера и интенсивности землепользования, в частности, приводящими к зарастанию заброшенных сельскохозяйственных земель лесами или выражающимися в распаивании степей для наращивания объемов сельскохозяйственного производства.

Одно из необходимых направлений спутникового мониторинга наземных экосистем — оценка фенологических ритмов, характеристики которых могут служить индикаторами влияния происходящих климатических изменений на состояние растительного покрова и других компонентов экосистем. К числу наиболее важных характеристик такого рода относятся продолжительность залегания снежного покрова, даты начала и окончания вегетационного периода, а также сроки наступления основных фенологических фаз развития растительности.

Оценки многолетних трендов состояния наземных экосистем необходимы для выявления и интерпретации долговременных изменений их фенологических ритмов, биофизических характеристик растительности, частоты и масштабов пожаров, интенсивности землепользования, проявления био-

логических факторов воздействия на растительный покров, видового состава растительности и положения границ биомов.

В настоящее время спутниковые методы позволяют также проводить оценку физических характеристик поверхности, таких, в частности, как альbedo, температура и влагосодержание, которые используются в качестве входных переменных во многих моделях динамики роста растительности, необходимых для оценок объемов чистой первичной продукции, интенсивности стока углерода и накопления его в растительной биомассе.

При наблюдениях за состоянием и динамикой наземных экосистем в настоящее время используют широкий набор спутниковых приборов дистанционного зондирования, различающихся уровнем пространственного разрешения, спектральными каналами, частотой наблюдения и некоторыми другими параметрами. По уровню пространственного разрешения выделяют несколько групп спутниковых данных.

Данные низкого разрешения (~1 км) получают с помощью NOAA-AVHRR, SPOT-Vegetation, Terra/Aqua-MODIS и некоторых других систем, проводящих измерения оптического излучения в широком диапазоне длин волн. Они имеют высокую периодичность наблюдений и способны не реже, чем ежесуточно, обеспечивать глобальное покрытие Земли в зависимости от широты местности (в бореальной зоне до двух-трех раз в сутки).

Данные среднего разрешения (~250—500 м) получают с аппаратов Terra/Aqua-MODIS и Envisat-MERIS. Эти системы способны обеспечить глобальное покрытие Земли в течение 1—3 дней и также проводят измерения в широком диапазоне длин волн оптического спектра.

Данные высокого разрешения (~20—50 м) собираются многоспектральными сканиру-

ющими радиометрами типа Landsat-ETM+, SPOT-HRVIR, Terra-ASTER, Метеор-3М/МСУ-Э и IRS-LISS. Они обеспечивают, как правило, частоту наблюдений не чаще чем один раз в две недели.

Данные детального разрешения (~1—5 м) могут быть получены такими спутниковыми системами, как IKINOS, Quick-Bird, SPOT-HRG и IRS-PAN. Их применяют, как правило, для выборочных нерегулярных наблюдений.

Выполненные в последние годы исследования по использованию спутниковых данных многоугловых измерений отраженного излучения позволяют изучить структурные характеристики растительного покрова, например, высоту и сомкнутость полога [1]. Комбинированное использование различных данных, алгоритмов их анализа и методов пространственного моделирования обеспечивает практическую непрерывность наблюдений при глобальном или континентальном охвате территории и позволяет в ряде случаев получить детальные характеристики объектов и явлений. Работы в этом направлении в нашей стране в последние годы активно проводятся в Институте космических исследований РАН в сотрудничестве с Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, а также рядом других ведущих организаций Российской академии наук и западноевропейских партнеров, таких как Объединенный исследовательский центр Европейской комиссии. Ниже будут кратко представлены основные направления и результаты таких работ.

Картографирование наземных экосистем. Данные спутниковых приборов низкого пространственного разрешения нашли широкое применение для картографирования экосистем на глобальном уровне. К настоящему времени разработаны карты наземных экосистем по данным NOAA-AVHRR в рамках про-

ектов IGBP-DIS [2] и университета Мэриленд [3], а также по данным SPOT-Vegetation (рис.1) в рамках проекта Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии GLC-2000 (Global Land Cover) [4] и данным Terra-MODIS в рамках проекта, выполняемого Университетом Бостона [5].

Разработанная по данным, полученным с аппарата SPOT-Vegetation с пространственным разрешением 1 км, карта наземных экосистем России [6] представляет собой наиболее современное описание географического распределения экосистем в нашей стране (рис.2). На ней представлены основные типы лесных формаций, кустарниковой и травяной растительности, болот, тундровых экосистем и ряда других, не покрытых растительностью, типов поверхности. Легенда карты содержит 25 тематических классов, формирующих семь различных групп.

Метод анализа спутниковых данных, использованный для создания карты, включал в себя предварительную обработку изображений с целью формирования набора производных продуктов спутниковых данных, обладающих улучшенными для изучения наземных экосистем свойствами, и последующую их классификацию.

Вначале выявлялись участки, покрытые снегом, облаками или тенями от них, а также — на основе использования данных спектрального отражения и нормализованного разностного индекса снега — наблюдения, искаженные в результате аппаратных сбоев [7]. Спутниковые данные, очищенные от влияния этих факторов, позволили сформировать следующие признаки для классификации [6]:

1) среднесезонные значения спектральной яркости, соответствующие весеннему, летнему и осеннему периодам;

2) индекс оптической анизотропии поверхности;

3) индекс влажности;

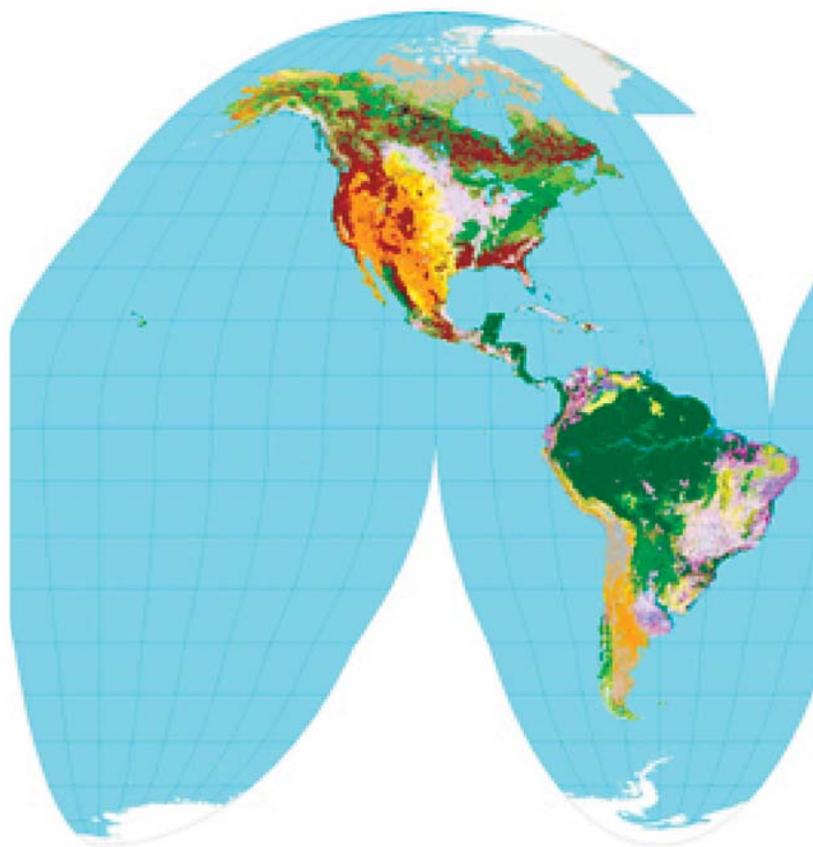
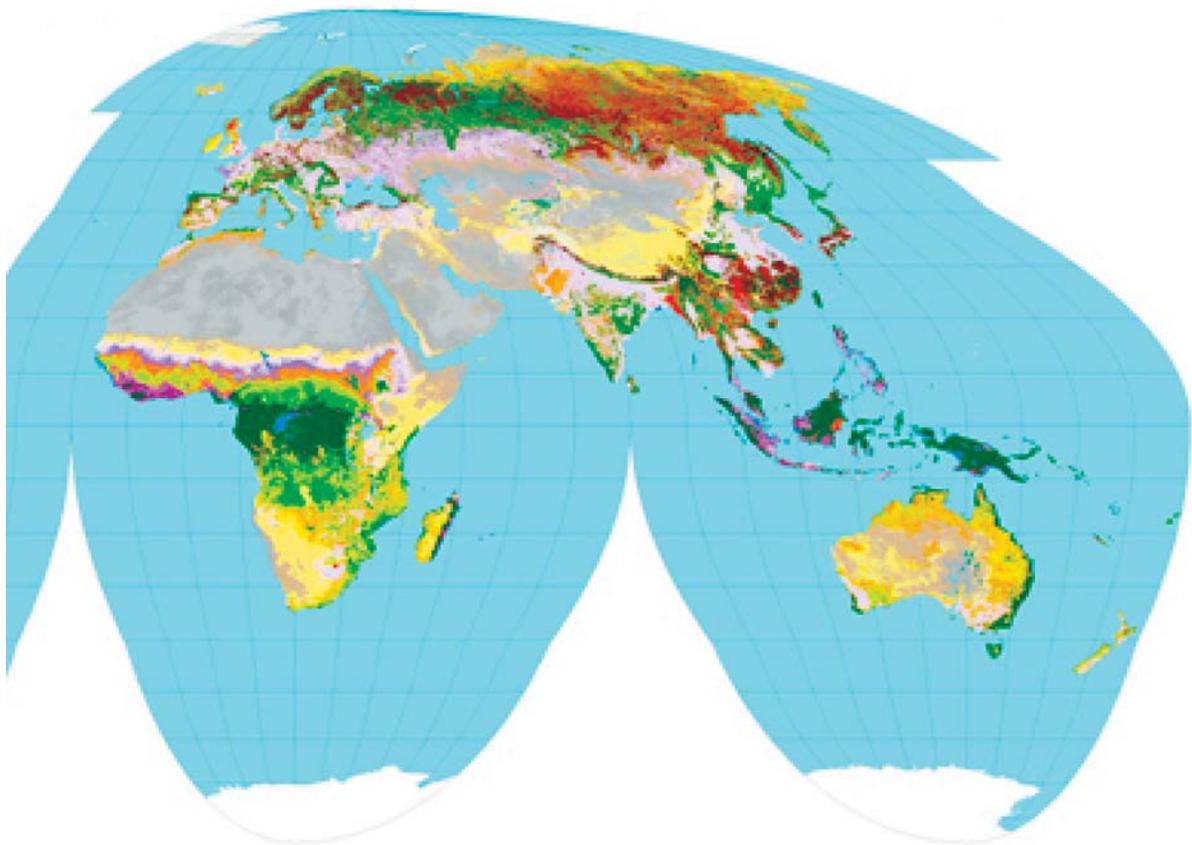


Рис.1. Глобальная карта наземных экосистем, составленная по данным прибора SPOT-Vegetation в рамках проекта GLC-2000.

4) индекс волнового подобию, характеризующий меру отличия временного профиля значений нормализованного разностного вегетационного индекса в течение всего вегетационного сезона от идеализированного сезонного профиля;

5) продолжительность периода залегания снежного покрова.

Сравнение разработанной карты наземных экосистем с картой лесов России, созданной в 1990 г. на основе данных инвентаризации лесов, полученных для части северных тер-



Сельскохозяйственные территории:

- сельскохозяйственные угодья
- в комплексе с лесами
- в комплексе с травянистой и кустарниковой растительностью

Пустыни:

- песчаные
- галечные
- каменные

Водные объекты

- Снега и льды

Увлажненные земли:

- леса, регулярно затопляемые пресной или солоноватой водой
- леса, регулярно затопляемые соленой водой
- регулярно затопляемая травянистая или кустарниковая растительность

Травянистая и кустарниковая растительность:

- вечнозеленые кустарники
- листопадные кустарники
- травянистая растительность
- разреженная травянистая или кустарниковая растительность
- Антропогенные объекты

риторий Сибири еще в 50-х годах XX в. методами аэровизуальных наблюдений, позволяет по-новому взглянуть на многие экологические и ресурсные аспекты. Эта карта, например, впервые наглядно продемонстрировала масштабную смену

коренных хвойных лесов вторичными лиственными лесами в европейской части России, Центральной Сибири и Дальнего Востока, произошедших в результате интенсивных вырубок и пожаров второй половины прошлого столетия. В то же вре-

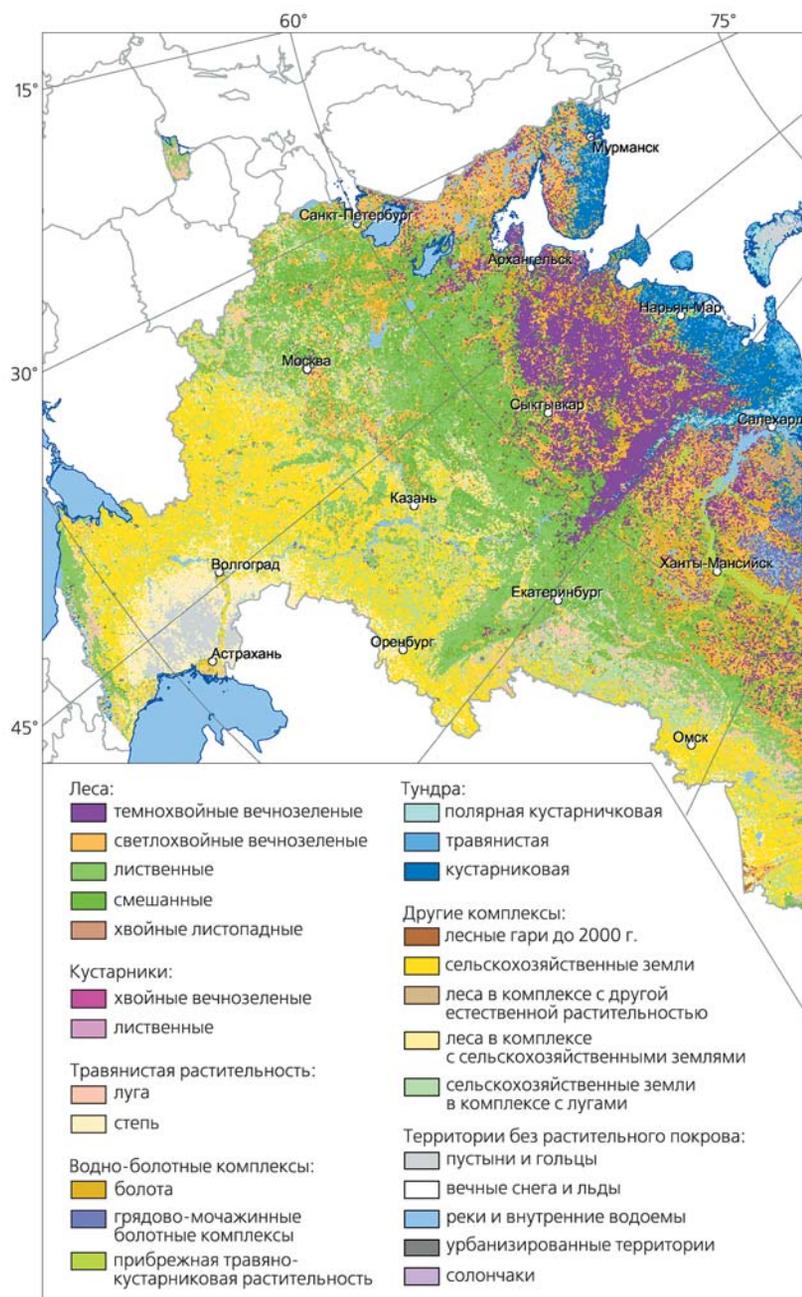
мя информация, полученная с помощью карты наземных экосистем, явно свидетельствует о массовом зарастании сельскохозяйственных земель в центральных регионах России, заброшенных в период постперестроечного спада экономики.

Разработанная карта наземных экосистем насчитывает более 300 пользователей в России, странах Западной Европы, США и Японии.

Мониторинг последствий пожаров. Выполненные исследования позволили разработать метод и автоматическую технологию, позволяющую на регулярной основе картографировать по спутниковым данным повреждения наземных экосистем бореальной зоны планеты пожарами (рис.3). Метод основан на совместном использовании временных серий данных спутниковых наблюдений SPOT-Vegetation и Terra/Aqua-MODIS. В нем используется комбинация спектральных признаков для выявления межгодовых изменений в состоянии растительности и обнаружения действующих пожаров по аномально высокой температуре поверхности.

Воздействие огня, в зависимости от интенсивности пожара и типов экосистемы, может приводить к гибели или изменению физиологических характеристик растительности, что, в частности, выражается в снижении влагосодержания и концентрации хлорофилла в зеленых фракциях растений. При этом также изменяется и спектральное отражение поврежденных участков в диапазонах длин волн, в которых происходит наиболее интенсивное поглощение оптического излучения молекулами хлорофилла и воды. Эти особенности лежат в основе использования спектрального вегетационного индекса SWVI (Short Wave Vegetation Index) [8], вычисляемого по данным ближнего ИК- и среднего ИК-спектральных каналов SPOT-Vegetation.

В качестве источника дополнительной информации используют результаты выявления активных пожаров по температурным аномалиям на основе спутниковых изображений Terra/Aqua-MODIS [9], согласованные по пространственному



разрешению и времени наблюдения с данными SPOT-Vegetation.

Сформированная с использованием разработанной технологии база данных представляет собой в настоящее время наиболее полный и достоверный источник сведений о повреждениях огнем растительного покрова бореальной зоны планеты.

Впервые стало возможно получить объективную информацию о пространственно-временных характеристиках повреждений растительности пожарами для всей этой зоны за относительно продолжительный период (2000—2004) при частоте наблюдений раз в 10 дней, что позволяет достаточно детально анализировать сезонную дина-

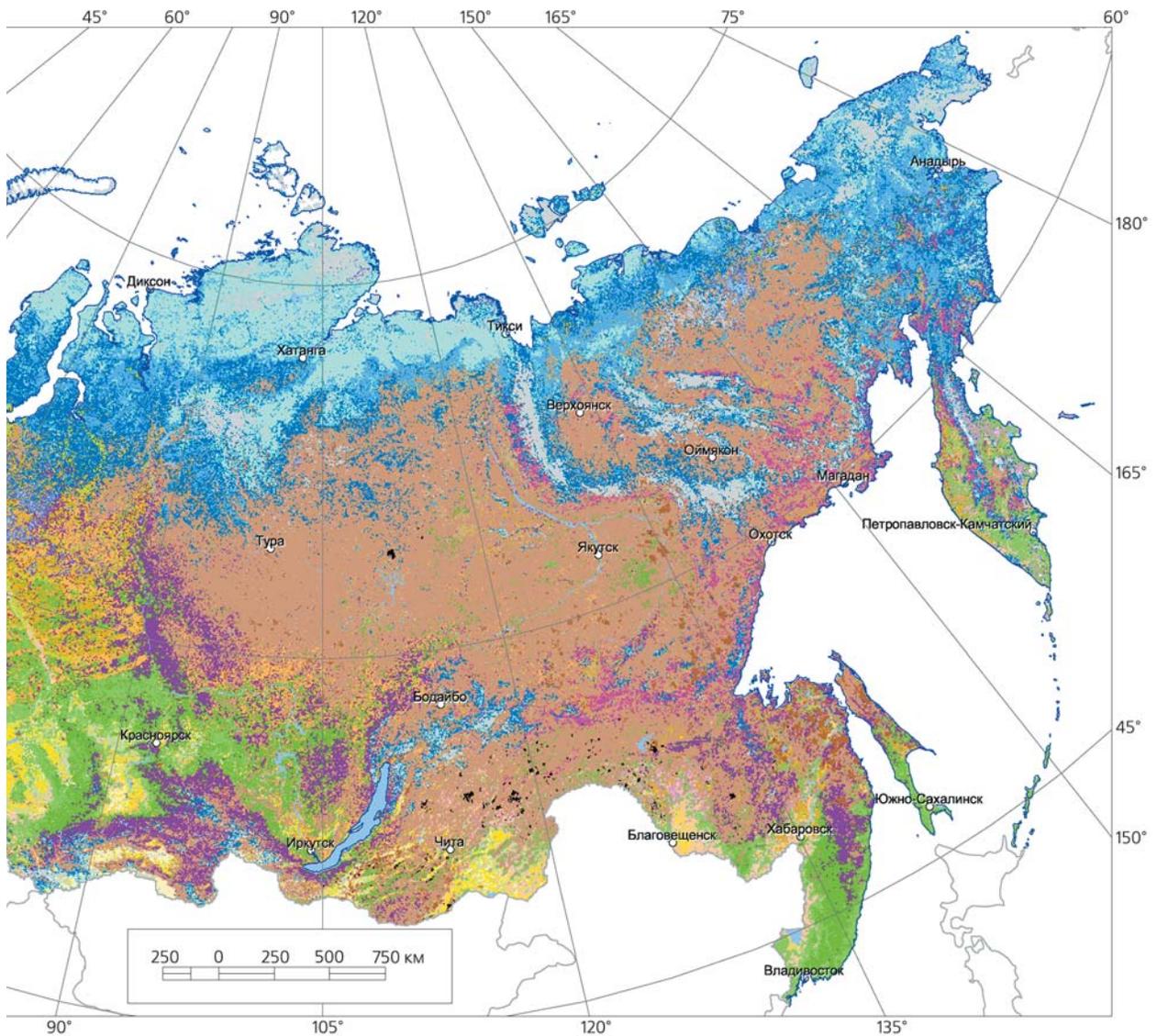


Рис.2. Карта наземных экосистем России, составленная по данным SPOT-Vegetation в рамках проекта GLC-2000 специалистами Института космических исследований РАН, Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН и Института окружающей среды (Европейская комиссия, Объединенный исследовательский центр, г.Испра (Италия)).

мику пожаров в различных типах наземных экосистем.

Созданная база данных может в настоящее время использоваться для эффективного управления природными и, прежде всего, лесными ресурсами, охраны окружающей среды и исследований, связанных с глобальными изменениями. Она позволяет оценить объемы

эмиссий углерода в атмосферу в результате пожаров, что делает ее важнейшим элементом информационного обеспечения, необходимого для выполнения Россией обязательств в соответствии с условиями Киотского протокола к рамочной конвенции ООН по изменению климата. Созданная технология картографирования поврежденной

огнем растительности активно используется сегодня в Информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства [10].

Мониторинг вырубок лесов. Комбинированное использование спутниковых данных среднего и высокого пространственного разрешения предс-

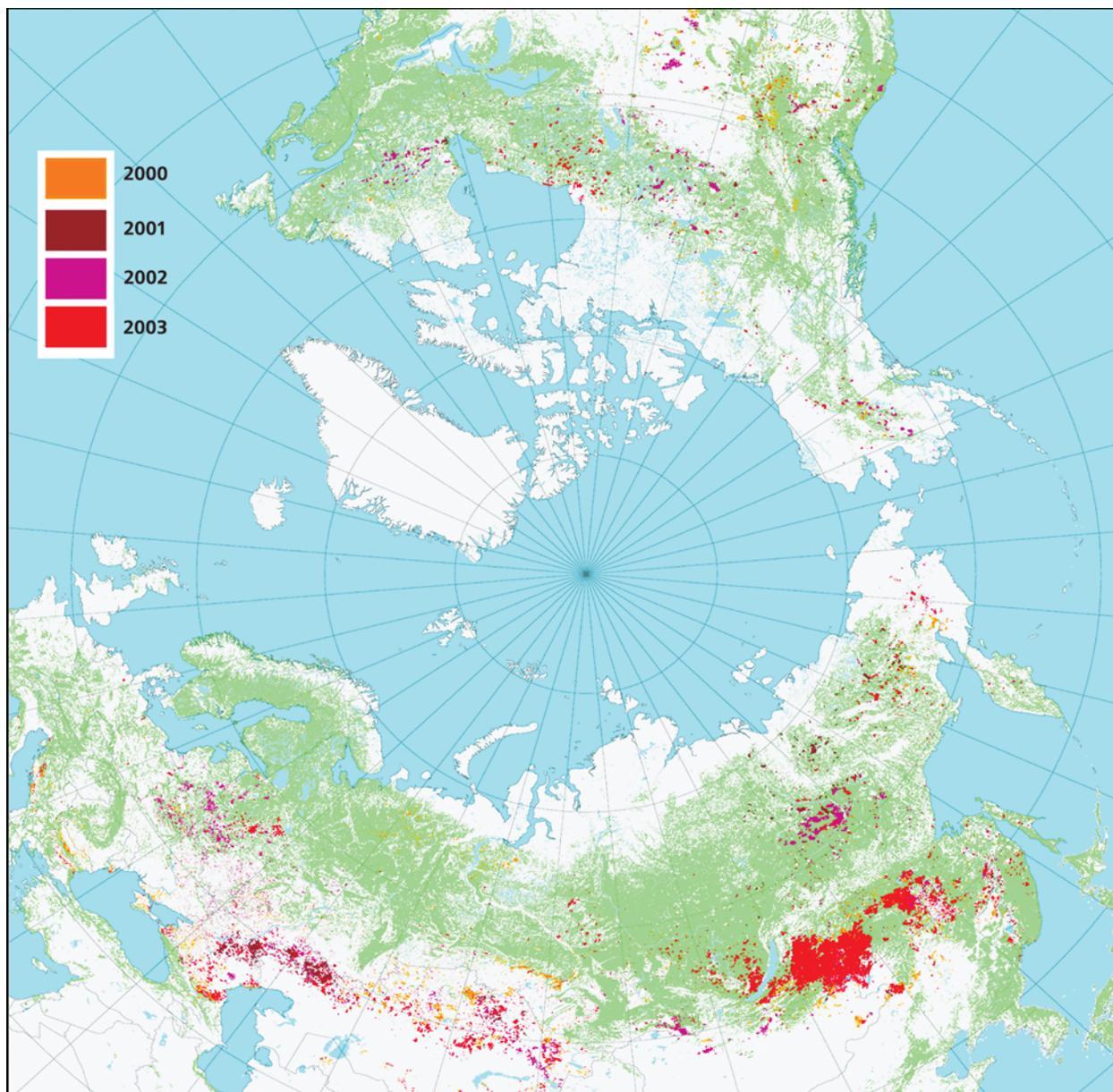


Рис.3. Циркумполярная карта бореальных экосистем, поврежденных пожарами в 2000—2003 гг., по данным прибора SPOT-Vegetation.

твляет информацию о масштабах вырубки лесов — одного из значимых факторов антропогенного воздействия на наземные экосистемы. В частности, использование временных серий спутниковых данных Terra/Aqua-MODIS и Envisat-MERIS позволяет выявить их в таежных регионах Европейского Севера России и Центральной Сибири, где площади выруб-

бок достигают 50 га. Там, где из-за ограничений лесопользования площади вырубок значительно меньше (до 10 га), целесообразно использование спутниковых изображений высокого разрешения.

Доступные в настоящее время архивы исторических изображений, полученных приборами MSS, TM и ETM+ со спутников серии Landsat, открывают уни-

кальную возможность получать достоверные данные об изменениях в лесах Северной Евразии и, в частности, о вырубках, произошедших с конца 70-х годов прошлого столетия. Разработанные автоматические методы выявления по разновременным спутниковым изображениям высокого разрешения долгосрочных изменений лесов в результате вырубок в настоящее время

апробированы на ряде тестовых участков таежной зоны Европейской части России.

Оценка пахотных земель.

Временные серии спутниковых данных среднего разрешения Terra/Aqua-MODIS находят широкое применение для оценки сельскохозяйственного использования земель. Алгоритмы автоматической обработки этих данных позволяют оценивать площади пахотных земель и их динамику, выявлять поля, засеянные озимыми и яровыми сельскохозяйственными культурами, определять параметры севооборота. Методы анализа также основаны на использовании многолетних серий ежедневных спутниковых данных и включают анализ динамики значений так называемого перпендикулярного вегетационного индекса [11]. Его значения вычисляются на основе измерений отраженного излучения в красном и ближнем инфракрасном каналах прибора Terra/Aqua-MODIS

таким образом, чтобы обеспечить независимость значений индекса от отражательных свойств почвенного покрова при сохранении высокой чувствительности к изменениям объема зеленой биомассы растительности. В настоящее время методы мониторинга сельскохозяйственных земель апробированы на ряде тестовых регионов южной части России и адаптируются к их распространению на всю территорию зернового пояса Северной Евразии.

Информационная система. В результате выполненных исследований к настоящему времени разработаны методики, а также накоплены обширные и регулярно обновляемые базы данных, отражающие состояние и динамику наземных экосистем Северной Евразии и бореальных экосистем в целом. Указанные данные чрезвычайно важны для использования в климатических моделях, моделирования биогеохимических цик-

лов, оценки характеристик биологического разнообразия и ряда других важных аспектов взаимодействия наземных экосистем с климатической системой Земли и человеческим обществом. Доступность этих данных широкому кругу ученых и специалистов — одно из необходимых условий проведения эффективных научных исследований по указанным направлениям. Разрабатываемая при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 04-07-90263-в) информационная система TerraNorte обеспечивает систематизированное хранение данных спутникового мониторинга наземных экосистем Северной Евразии, обновление географических баз данных по мере получения новых информационных продуктов, а также удаленный доступ к имеющимся данным заинтересованных пользователей на основе Интернет-технологий (<http://tem.iki.rssi.ru>). ■

Литература

1. *Widlowski J.-L., Pinty B., Gobron N. et al.* // Climatic Change. 2004. V.67. P.403—415.
2. *Loveland T.R., Zbu Z., Oblen D.O. et al.* // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1999. V.65. P.1021—1032.
3. *Hansen M., DeFries R., Townshend J.R.G., Sohlberg R.* // Int. J. of Remote Sensing. 2000. V.21. P.1331—1365.
4. *Bartholomé E. and Belward A.S.* // Int. J. of Remote Sensing in press. March 2005.
5. *Friedl M.A., Mclver D.K., Hodges J.C.F. et al.* // Remote Sensing of Environment. 2002. V.83. P.287—302.
6. *Bartalev S.A., Belward A.S., Erchov D.V., Isaev A.S.* // Int. J. of Remote Sensing. 2003. V.24. №9. P.1977—82.
7. *Hall D.K., Riggs G.A., Salamonson V.V.* // Remote Sensing of Environment. 1995. V.54. P.27—140.
8. *Stroppiana D., Pinnock S., Pereira J.M.C. and Gregorie J.-M.* // Remote Sensing of Environment. 2002. V.82. P.21—37.
9. *Justice C.O., Giglio L., Korontzi S. et al.* // Remote Sensing of Environment. 2002. V.83. P.244—262.
10. *Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Лупян Е.А. и др.* Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. М., 2004. С.47—57.
11. *Richardson A.J., Wiegand C.L.* // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1977. V.43. №2. P.1541—1552.

Возрождение гелиобиологии

Т.К.Бреус, С.И.Рапопорт

Изучение гелиобиологии в нашей стране началось в 20–30-х годах прошлого столетия с трудов А.Л.Чижевского и имеет довольно непростую историю. Бурное развитие геофизических и космических исследований в 60–70-е годы XX в. радикально изменило представления об околоземном и межпланетном пространствах. Открытие солнечного ветра и магнитосферы Земли привело к обнаружению новых факторов, связанных с корпускулярным излучением Солнца и межпланетным магнитным полем, которые могут влиять на электромагнитные свойства среды обитания биологических объектов [1].

Чрезвычайно малая интенсивность природных электромагнитных полей — меньше порождаемой технологической деятельностью человека и сопоставимая с собственными шумами клеток живых организмов — долгое время не позволяла понять механизм восприятия ими электромагнитных излучений. Лабораторные эксперименты по изучению влияния сверхнизкочастотных электромагнитных полей на биологические объекты на органном и клеточном уровне давали плохо воспроизводимые результаты. Это было

© Бреус Т.К., Рапопорт С.И., 2005



Тамара Константиновна Бреус, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник ИКИ РАН. Член проблемной комиссии «Хронобиология и хрономедицина» Российской академии медицинских наук, руководитель секции «гелиобиология» Совета РАН по проблеме «Солнечно-земные связи. Солнце—Земля». Занимается исследованиями ионосфер планет земной группы (Венеры и Марса), а также на протяжении около 20 лет вопросами гелиобиологии.



Семен Исаакович Рапопорт, профессор, доктор медицинских наук, заслуженный деятель науки РФ, заведующий лабораторией хрономедицины и новых технологий в клинике внутренних болезней Московской медицинской академии им.И.М.Сеченова, заместитель председателя той же комиссии. Область научных интересов — изучение ритмов при различных заболеваниях в связи с воздействием солнечной активности.

еще одной причиной скептицизма по отношению к гелиобиологии, приведившего порой к трактовке ее как лженауки.

Еще к середине 80-х и в начале 90-х годов наметился прогресс в экспериментальных, наблюдательных и статистических исследованиях, что позволило предложить новую гипотезу

о биологических причинах воздействия очень слабых электромагнитных полей на живые организмы. Позднее она получила ряд подтверждений в цикле работ, проводимых у нас в стране и за рубежом и по сей день [2].

Мы попытаемся рассказать о новых подходах и новых результатах, полученных за пос-

ледние годы, в частности Институтом космических исследований РАН и работающей с ним междисциплинарной группой специалистов. Эти исследования вернули гелиобиологии утраченный официальный статус. В настоящее время существует не только лаборатория динамики энергичных частиц и космической погоды в ИКИ РАН, занимающаяся гелиобиологией: при ИКИ РАН работает секция Совета Российской академии наук по проблеме «Солнечно-земные связи. Солнце—Земля». Работы проводятся совместно с институтами РАН (Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн, Институтом медико-биологических проблем, Институтом физики Земли, Институтом теоретической и экспериментальной биофизики), а также учреждениями РАМН и Минздрава РФ: Московской медицинской академией им.И.М.Сеченова, Научно-исследовательским институтом кардиологии им.А.Л.Мясникова и Государственным научно-исследовательским институтом здоровья детей РАМН. Эти исследования вошли также в Программу фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные науки — медицине». В ИКИ РАН проводятся ежемесячные научные сессии секции по гелиобиологии и продолжают традиции ИТЭБ РАН, основанные профессором С.Э.Шнолем, проводить один раз в два года международных семинаров по этой проблеме.

Биологические эффекты слабых электромагнитных полей

Напомним, что биологические объекты — это сложные открытые нелинейные системы, в процессах самоорганизации которых внешний шум может играть активную роль. Поскольку ритмические колебания составляют естественную характе-

ристику биологических объектов (на всех их уровнях — от клеточного до популяционного), легко представить, что их эндогенная (внутренняя) временная структура складывалась эволюционно под влиянием внешних природных ритмических синхронизаторов.

Внешние сигналы естественных электромагнитных полей включают шум и слабую периодическую составляющую. Биологические системы могут «захватывать» ритмы этих сигналов или сбиваться с собственного ритма под их влиянием при определенных обстоятельствах. Одним из физических механизмов воздействия слабых периодических сигналов на фоне шума может быть стохастический резонанс или стохастическая фильтрация (рис.1).

Если интенсивность шума высока, система не успевает отследить слабый периодический сигнал. При низкой интенсивности шума «созревание» ее фазы происходит слишком долго. Возможно, поэтому не все естественные или техногенные электромагнитные поля могут быть биотропными.

Еще в начале 90-х годов мы предположили, что к внешним синхронизаторам биологических ритмов можно отнести гелиогеомагнитные ритмы, имеющие разные периоды: собственного вращения Солнца (около 28 дней), его гармоник (около 14, около 7, около 3.5 дней) и др. [1]. Нам удалось показать, что подобные ритмы характерны не только для солнечной и геомагнитной активностей, но и для всех биологических систем. Так, наблюдая за биениями одной или группы клеток сердечной мышцы крысы, можно отчетливо увидеть около-полунедельные ритмы наряду с суточными (рис.2).

Мы изучали временную структуру основных функциональных показателей у маленьких детей с момента рождения в течение 26 мес, фиксировали частоту сердечных сокращений,

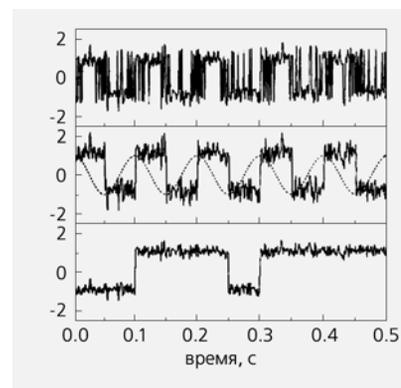


Рис.1. Отклик системы с двумя устойчивыми состояниями (+2 и -2 по оси ординат) на периодический сигнал и шум. На верхнем и нижнем графиках четкой периодичности нет: сверху — периодический сигнал с периодом 1.5 с размыт, внизу — система колеблется под влиянием шума и не захватывает внешний сигнал. В середине — система совершает периодические колебания с периодом 0.15 с.

систолическое и диастолическое кровяное давление, ритм дыхания (рис.3). В спектрах первых четырех месяцев жизни присутствует весь набор ритмов с периодами, близкими к гелиогеомагнитным ритмам. Суточный ритм начинает проявляться только на пятом месяце наблюдений и доминирует к годовалому возрасту. В материнском организме, как известно, суточный ритм наиболее мощный. Такое отличие говорит о том, что долгопериодические биологические ритмы встроены в эндогенную структуру организма под влиянием гелиогеомагнитных ритмов, в то время как суточный ритм, индуцированный волновым излучением Солнца, появился в онтогенезе.

В формировании эндогенной ритмики с периодами около 28 дней могли играть важную роль и другие факторы, например слабые гравитационные «лунные» ритмы, имеющие такую же периодичность. Видимо, они составили стабильные фо-

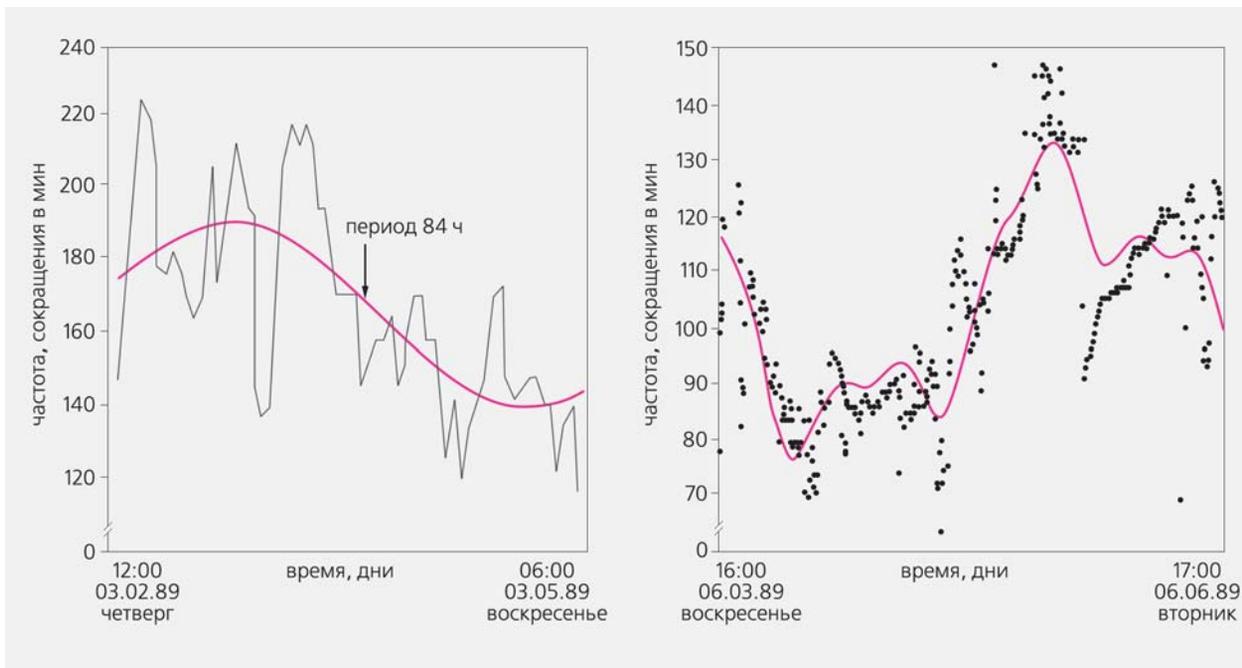


Рис.2. Около-полунедельные (цветная кривая) и суточные ритмы изолированной клетки миокарда крысы ($p < 0.001$). Справа — около-полунедельные ритмы агрегата этих клеток. В суточных ритмах наблюдается некоторый разброс, но видны два горба по 12 ч и два около-полунедельных пика (101 и 96 ч).

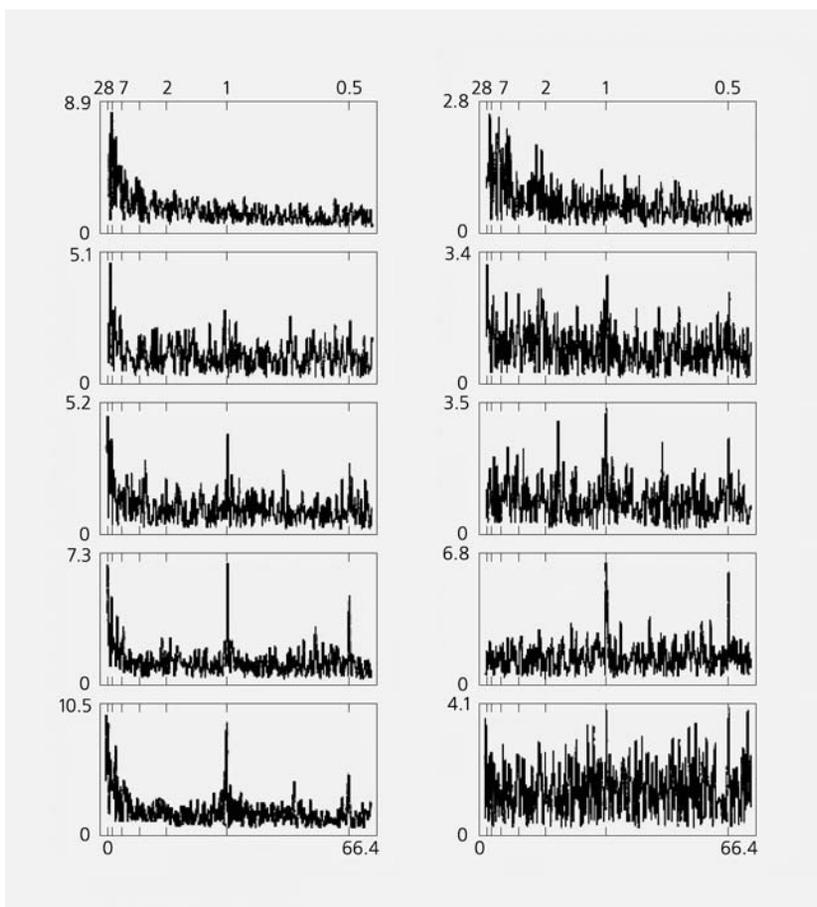


Рис.3. Данные непрерывного наблюдения частоты сердечных сокращений (слева) и артериального давления (справа) младенца от момента рождения и до 20 месяцев жизни. По оси ординат амплитуда ритма (удар/мин). По оси абсцисс (внизу) частота (циклы/месяц) и (вверху) периоды в днях. Записи наблюдения с 26.01.89 по 19.03.91 разбиты на пять последовательных серий по четыре месяца в каждой.

новые колебания. Однако на них накладывались ритмы естественных электромагнитных полей, к сбоям в которых должны были адаптироваться организмы, чтобы выжить. Кроме того, в спектрах геомагнитных полей имеются также компоненты, близкие к ритму сокращения сердечной мышцы, различным ритмам мозга, таким как α -, β -, θ -ритмы. Гелиогеофизические ритмы таких частот возникают при взаимодействии солнечного ветра с магнитосферой Земли, во время геомагнитных возмущений, в том числе магнитных бурь, и образуют электромагнитную среду обитания биологических объектов [3].

Сбои гелиогеомагнитных ритмов или появление биотропных внешних датчиков вызывают нарушения в ритмах живых организмов — десинхроноз, подобный тому, который возникает, например, при рассогласовании фаз суточных ритмов после трансконтинентальных перелетов у человека [4].

Эти идеи, очевидно, могли в значительной степени разрешить энергетический парадокс воздействия крайне слабых природных электромагнитных полей на биологические системы. Очевидно также, что неоднозначность реакций сложных нелинейных систем на слабые воздействия зависит не только от воздействующего фактора, но и от состояния самой системы.

Лабораторные эксперименты и теории

Начиная с 70-х годов прошлого столетия изучение влияния крайне слабых переменных электромагнитных полей на биологические системы активно ведется в нашей стране и за рубежом. Как правило, эти эксперименты выполняются на фоне постоянного магнитного поля Земли, поэтому в большинстве случаев биологические эффекты слабых переменных полей выз-

ваны воздействием комбинированного магнитного поля.

Согласно опубликованным данным, поля с амплитудами микротеслового и нанотеслового диапазонов при определенных значениях частот (от 0.01 Гц до нескольких десятков герц) способны изменять ферментативную активность клеток крови человека и время ее свертывания, скорость роста раковых клеток, вызывать эпилептические проявления у животных и др.

По имеющимся экспериментальным оценкам, существуют пороговые амплитуды переменных синусоидальных магнитных полей, необходимые для индукции биоэффектов. Однако величина и природа «порогов» для полей различных типов, а также механизмы их влияния на биосистемы еще не определены. Более того, некоторые авторы вообще отрицают воздействие переменных магнитных полей с амплитудой ниже 2—5 мкТ на живые системы и полагают, что сообщения о таких эффектах, скорее всего, ошибочны [5]. Вместе с тем они же считают, что появление надежных данных относительно влияния таких полей на биосистемы следовало бы рассматривать как важнейшее научное открытие.

К настоящему времени получены достаточно убедительные доказательства того, что поля с амплитудами в области микротеслового, нанотеслового и даже пикотеслового диапазонов индуцируют достоверные эффекты в биологических системах. За последние 10 лет в пяти различных лабораториях на одной и той же тест-системе и с использованием однотипных магнитных полей было установлено, что под влиянием микротесловых полей оплодотворенные куриные эмбрионы в два-три раза чаще развивались аномально. Было показано также, что исчезло ингибирующее действие физиологических концентраций мелатонина на рост раковых клеток молочной железы человека в культуре. Эти дан-

ные опровергают принципиальную невозможность индукции эффектов с помощью полей с амплитудами, меньшими 2—5 мкТ. Однако необходимо отметить, что опыты с культурой раковых клеток проводились в специальном ящике, экранирующем внешнее магнитное поле (т.е. постоянное магнитное поле Земли отсутствовало), поэтому делать какие-либо выводы о воздействии микротесловых полей на биообъекты в реальных условиях преждевременно.

В Институте теоретической и экспериментальной биофизики РАН В.В.Леднев с сотрудниками достоверно показали, что комбинированные крайне слабые переменные магнитные поля (с амплитудами микротеслового, нанотеслового и даже пикотеслового диапазонов) на фоне постоянного поля Земли влияют на свойства биологических тест-систем и у животных, и у растений: в частности, на регенерацию ампутированной головной части плоских червей планарий (*Dugesia tigrina*) и на развитие гравитропической реакции в сегментах стеблей льна (*Linum bienne*). Как полагают авторы, в основе биологического действия этих переменных полей лежит частотная модуляция электромагнитного поля, обусловленная прецессией соответствующих магнитных моментов ядер атомов водорода (спинов) в постоянном поле Земли [6]. Причем величина наблюдаемых эффектов зависит от соотношения амплитуды и частоты переменной компоненты полей (рис.4). При определенных соотношениях между частотой и амплитудой переменной компоненты поля амплитуды ближайших к несущей частоте спутников могут быть большими даже при очень малых величинах магнитной индукции переменных полей. Возможно, такое перераспределение интенсивности в частотно-модулированном спектре сигнала служит пусковым механизмом в цепи межмолекулярных взаимодействий,

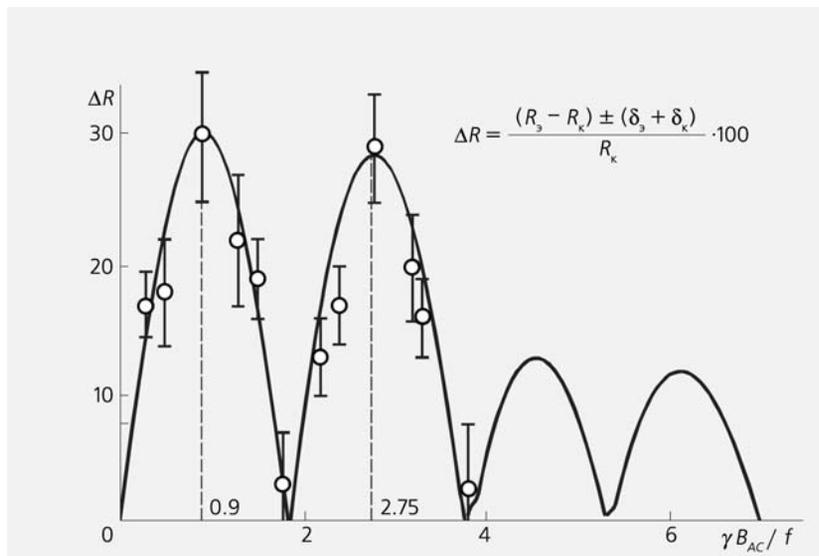


Рис. 4. Зависимость скорости регенерации планарий от индекса модуляции $\gamma B_{AC}/f$. ΔR — относительная разница (%) между средними величинами индексов регенерации в экспериментальных (R_s) и контрольных (R_k) образцах. Индекс регенерации $R = s/S$, где s — площадь бласты, S — площадь тела планарии. Кривая — теоретически ожидаемая зависимость. Параметры поля: $B_{DC} = 42$ мкТ, $B_{AC} = 1.6$ мкТ, $f_{AC} = 208, 138, 76, 53, 45, 37, 31, 28.5, 25, 21.7, 21, 18$ Гц.

в конечном счете приводящих к наблюдаемым эффектам.

В.В.Леднев с сотрудниками впервые показали также, что переменные поля с крайне слабой пикотесловой амплитудой (640 пТ) с частотой 10 Гц вызывают существенные по величине биоэффекты в тест-системах. Они наблюдались на фоне магнитного шума на частоте 50 Гц с амплитудой 15 нТ, т.е. более чем в 20 раз превышающей амплитуду воздействующего поля. Эти данные чрезвычайно интересны для оценки возможного биологического действия естественных переменных магнитных полей, например регулярных пульсаций магнитного поля типа Pс1 с амплитудой порядка 100 пТ и частотой от 0.2 до 5 Гц. Согласно простейшим теоретическим оценкам, первичными мишенями пикотесловых низкочастотных полей могут быть магнитные моменты диамагнитных токов атомов и молекул.

Если эти результаты будут подтверждены в других лабора-

ториях, их можно рассматривать как существенный прорыв в изучении возможного влияния крайне слабых переменных магнитных полей природного и техногенного происхождения на живые системы, и прежде всего, на человека. Однако сегодня еще нет единого мнения по поводу механизма высокой чувствительности биологических объектов к слабым переменным электромагнитным полям. Подробный анализ различных гипотез приведен в статье В.И.Бинги и А.В.Славина [7].

В начале 90-х годов американские специалисты высказали гипотезу, которая объясняет действие магнитных полей их влиянием на биохимические реакции с участием свободных радикалов — элементарных микромагнетиков. Крайне слабые переменные и постоянное магнитное поле Земли могут менять ориентацию спинов неспаренных электронов и тем самым направление реакций и их результаты. Такие изменения ори-

ентации возможны только при определенных интенсивностях переменного магнитного поля, когда триплетное состояние радикалов (спины электронов однонаправлены) переходит в синглетное состояние (с противоположной ориентацией спинов), благоприятное для образования новых связей.

Хотя сама по себе эта гипотеза привлекательна, но отечественные биологи относятся к ней скептически. Дело в том, что концентрация свободных радикалов, образующихся в ходе биохимических реакций, слишком мала для того, чтобы слабые флуктуации электромагнитного поля заметно сказались на функционировании органов и систем целостного организма. До недавнего времени не было идей и относительно «мишени» воздействия, обладающей достаточно большим сечением, а также механизма усиления подобных эффектов.

Биологические эффекты микропульсаций геомагнитного поля

Как известно, сердце и сердечно-сосудистая система — одна из «мишеней», отчетливо реагирующих на гелиогеомагнитные возмущения. Об этом говорит достоверное увеличение во время больших магнитных бурь числа инфарктов миокарда и инсультов головного мозга (на 13% и 7.5% соответственно из ~85—90 тыс. случаев).

В клинических исследованиях, проводившихся совместно с НИИ кардиологии им.А.Л.Мясникова, при наблюдении за показателями ЭКГ (по Холтеру) и артериальным давлением у больных, перенесших инфаркт миокарда, установлено, что в некоторых случаях ишемическое изменение ST-сегмента на кардиограмме и возрастание артериального давления происходят сразу после начала магнитной бури (рис.5).

Хорошо известно, что даже в самую сильную геомагнитную бурю изменение магнитного поля не превышает 5–8% от величины главного поля у земной поверхности, и происходит оно довольно медленно (порядка часов). Интенсивность магнитной бури измеряется величиной кольцевого тока в магнитосфере, *Dst*-индексом, который вычисляется для каждого часа мирового времени в нанотеслах как среднее отклонение горизонтальной компоненты геомагнитного поля от спокойного уровня по данным четырех приэкваториальных обсерваторий. Магнитная буря имеет, как правило, три фазы. Положительные значения *Dst* отвечают начальной фазе, резкое уменьшение и появление отрицательных значений — главной, которая длится порой целые сутки. Затем наступает фаза восстановления, продолжающаяся 2–3 сут. Долгое время оставался открытым вопрос, какие именно характеристики магнитных бурь биотропны?

При изучении электрической активности сердца выяснилось, что пульсирующие клетки сердца (пейсмекеры) могут спонтанно синхронизироваться и биться в унисон или внезапно остановить свой ритм под влиянием весьма слабых возмущений, например электрических импульсов в узком диапазоне периодов от 0.18 до 0.21 с. Возникающая при этом фазовая сингулярность может вызвать фибрилляцию сердца, потерю его насосных функций и, как следствие, плохое снабжение кровью мозга, ведущее к катастрофе, т.е. к внезапной смерти [8].

В ряде лабораторных и эпидемиологических исследований показано, что нахождение людей в электромагнитных полях низкой и очень низкой частоты может стабилизировать частоту сердечных сокращений, а также привести к развитию инфаркта и внезапной смерти от аритмии. Эти работы позволили предположить, что геомагнитные мик-

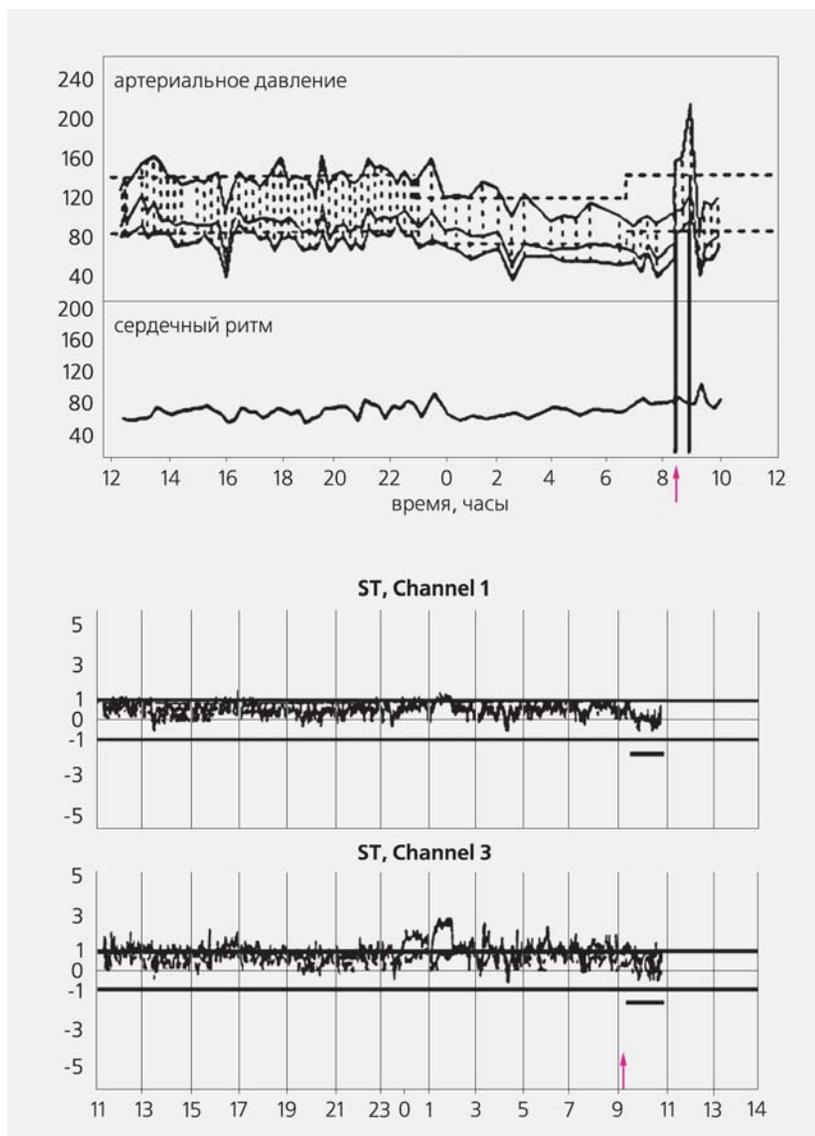


Рис.5. Записи изменений артериального давления и сердечного ритма у пациента 47 лет, страдающего ишемической болезнью сердца. Стрелка соответствует началу геомагнитной бури. Отчетливо виден подъем давления после начала бури. Внизу: непрерывная запись (24 ч) электрокардиограммы в двух отведениях. Эпизоды депрессии ST подчеркнуты.

ропульсации с частотой в диапазоне ритмов сердца биотропны. В частности, Pс1-пульсации представляют собой квазисинусоидальные колебания с периодом от 0.2 до 5 с, имеющие модуляцию амплитуды в виде отдельных волновых пакетов длительностью 1–4 мин (рис.6). Pс1 иногда называют «жемчужинами», поскольку их магнитограмма напоминает нитку жемчуж-

ного ожерелья. Чаще всего они появляются рано утром (по местному времени) в диапазоне долгот до 120°, после внезапного начала магнитной бури. В средних широтах амплитуды Pс1 пульсаций составляют 10–100 пТ.

В редких случаях Pс1 регистрируются за несколько часов до внезапного начала, особенно если оно происходит на восста-

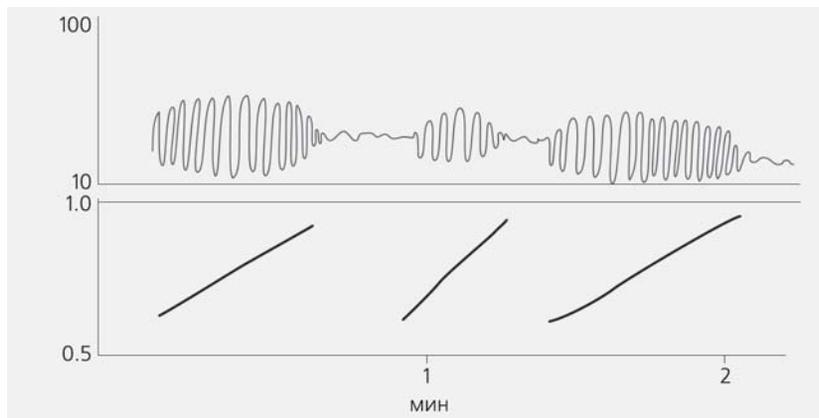


Рис.6. Схема геомагнитных пульсаций Pc1. Вверху — вариации амплитуды (нТ) со временем, внизу — вариации частоты (Гц) со временем.

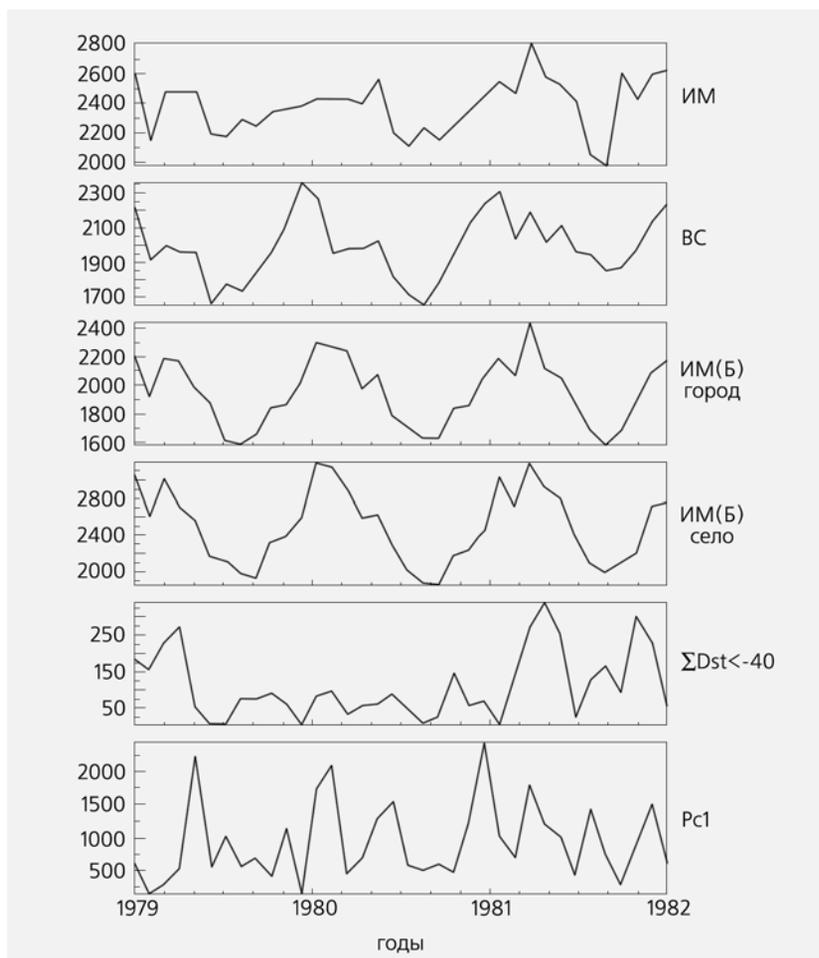


Рис.7. Сопоставление суммарных месячных данных вызовов скорой помощи за 1979—1981 гг. по поводу инфарктов миокарда (ИМ) и внезапной смерти (ВС) в Москве и в Болгарии, отдельно для городов и сел с ежемесячной суммой часов с $Dst < -40$ нТ (что соответствует всем магнитным бурям, от слабых до сильных), а также с суммированной за месяц продолжительностью в минутах геомагнитных пульсаций Pc1 в обсерватории «Борок».

новительной фазе предыдущей магнитной бури. В сезонных вариациях длительности среднеширотных Pc1 пульсаций максимальна в зимнее время.

Мы проанализировали данные о вызовах скорой медицинской помощи в Москве за 1979—1981 гг. по поводу инфарктов миокарда (85.7 тыс. вызовов) и внезапной смерти (71.7 тыс. вызовов) и сопоставили их с данными наблюдений геомагнитных пульсаций Pc1 в геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН [9]. Кроме того, были учтены данные о внезапной смерти от инфарктов по Болгарии. В качестве планетарной характеристики геомагнитной возмущенности использовались индексы Dst . Данные для Москвы и для Болгарии имеют удивительное сходство.

В Москве меньше всего вызовов скорой помощи по поводу инфаркта и внезапной смерти оказалось летом. Этот минимум нельзя связать с летними отпусками и выездом значительной части населения за город, поскольку та же закономерность отмечена в Болгарии и для городского, и для сельского населения. Коэффициент линейной корреляции между московскими и болгарскими данными составил 0.74. Значит, сезонный ход инфарктов — минимальный летом и максимальный зимой — характерен для различных районов и скорее всего определяется какой-то общей причиной.

Хорошо известно, что геомагнитные бури чаще всего происходят весной и осенью. В то же время продолжительность Pc1 явно увеличивается в зимние месяцы (рис.7). Для доказательства связи между количеством инфарктов и длительностью Pc1 мы сопоставили anomalously большие и anomalously малые частоты вызовов скорой помощи по поводу инфаркта с продолжительностью Pc1 в эти дни. Оказалось, что из 67 случаев anomalously большого числа вызовов в 46 (69%) одновременно регистрировались геомагнит-

ные пульсации Pc1, причем в более чем половине случаев они продолжались в течение двух дней — в предшествующий и текущий дни.

При изучении биоэффективности разных фаз магнитных бурь по данным об аномальном числе инфарктов выяснилось, что почти половина таких случаев наблюдалась в восстановительную фазу, около 10% в главную и примерно столько же — в день внезапного начала бури, причем такая же закономерность характерна для геомагнитных пульсаций.

За 1979—1981 гг. было зафиксировано 129 магнитных бурь с внезапным началом, которые отличались по интенсивности и длительности. Из 22 зимних бурь в 15 (68%) было аномально большое число инфарктов. Из зарегистрированных летом 32 бурь в 20 были Pc1, и только в одной буре наблюдалось аномально большое число инфарктов (рис.8)

Таким образом, можно предположить, что именно Pc1 могут вызывать столь серьезную патологию сердечно-сосудистой системы. Однако летом существует фактор, нейтрализующий негативное влияние геомагнитных возмущений и сопутствующих им пульсаций Pc1.

В последние годы все большее внимание привлекают сведения о важной регуляторной роли шишковидной железы (эпифиза) и его основного гормона мелатонина в различных физиологических функциях человеческого организма [10]. Известно, что продукция мелатонина, зависящая от продолжительности светлого и темного времени суток, вызывает суточные и сезонные перестройки в организме человека и животных. Велика роль мелатонина в сезонном ходе обострения заболеваний внутренних органов и, в частности, сердечно-сосудистых, в результате рассогласования эндогенного ритма мелатонина и ритмов внешней среды (десинхроноза). У таких

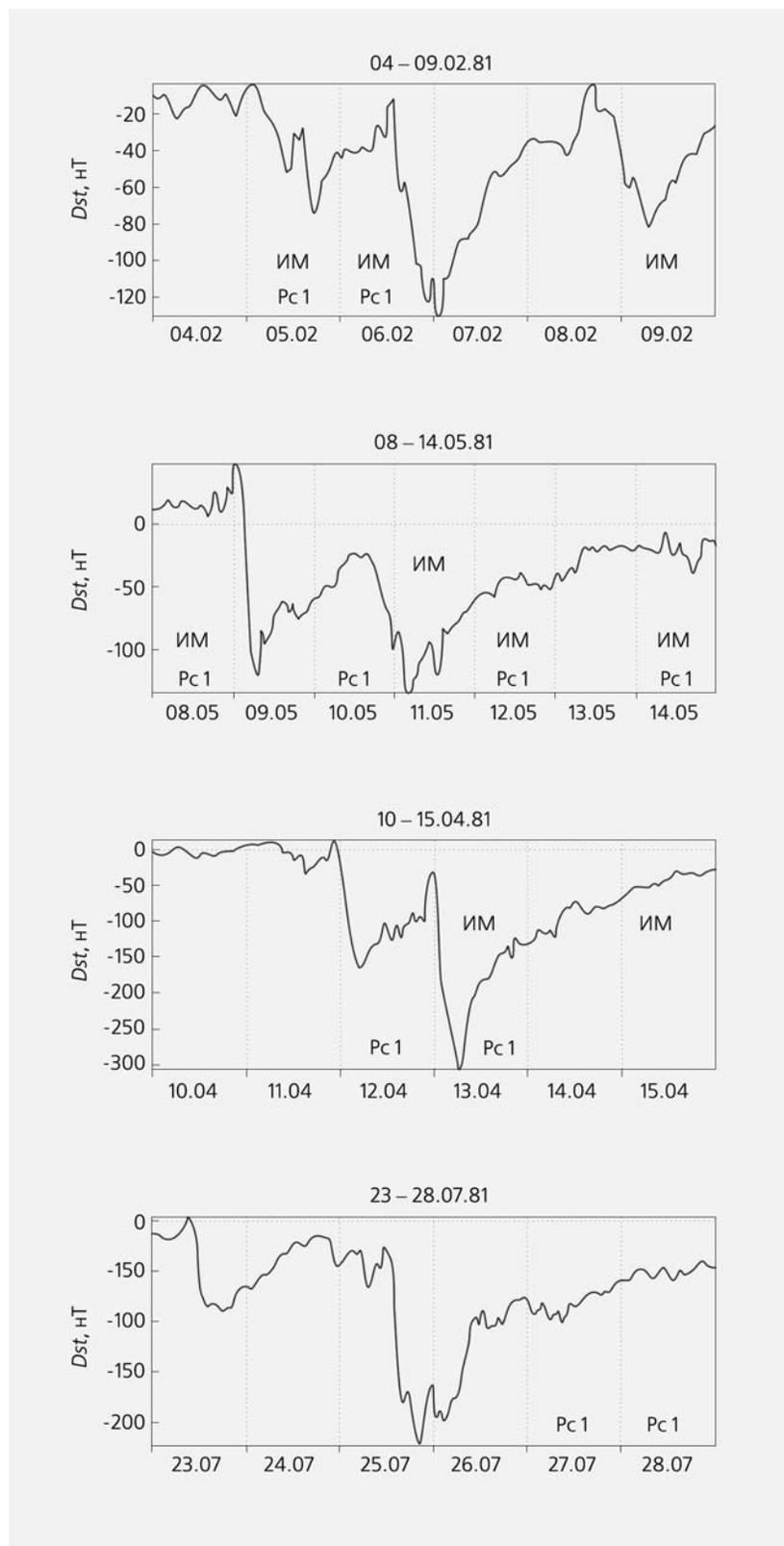


Рис.8. Записи нескольких магнитных бурь, во время которых наблюдались геомагнитные пульсации Pc1 и аномально большое число инфарктов: два верхних графика — умеренные бури, два нижних — сильные, из которых верхний график — зима, а нижний — лето.

больных синтез мелатонина резко уменьшен, особенно в ночное время. Может быть, в обнаруженном нами совпадении сезонных вариаций обострений инфарктов и длительности геомагнитных колебаний РС1 важную роль играют сезонные вариации синтеза мелатонина. Зимой, когда подавлена суточная ритмика продукции мелатони-

на, организм приходит в неустойчивое состояние, и поэтому даже слабые магнитные бури в сочетании с РС1 могут приводить к сердечно-сосудистой патологии.

Таким образом, в последние годы достигнуты серьезные успехи в изучении биологического воздействия слабых переменных геомагнитных полей. Не-

сомненному прогрессу исследований способствуют обсуждения различных аспектов гелиобиологии на заседаниях секции, поскольку помогают взаимопониманию и обмену мнениями специалистов различных специальностей (физиков, биологов, медиков, экспериментаторов и теоретиков), вовлеченных в эту проблему. ■

Литература

1. Бреус Т.К. Биологические эффекты солнечной активности // Природа. 1998. №2. С.76—88.
2. Бреус Т.К., Рапопорт С.И. Магнитные бури. Медико-биологические и геофизические аспекты. М., 2004.
3. Breus T.K., Golishev S.A., Ivanova S.V. et al. Influence of the interplanetary magnetic field on human health // Solar Terrestrial Energy Program, COSPAR Colloquia series V.5 / Eds D.N.Baker, V.O.Papitashvili. W., 1994. P.581—605.
4. Breus T., Cornelissen G., Halberg F. et al. // Annales Geophysicae. 1995. V.13. P.1211—1222.
5. Adair R.K. // Physical Rev. 1991. A43. №3. P.1039—1048.
6. Леднев В.В., Белова Н.А., Рождественская З.Е. и др. // Геофизические процессы и биосфера. 2003. Т.2. №1. С.3—11.
7. Бинги В.И., Славин А.В. // Успехи физ. наук. 2003. Т.183. №3.
8. Winfree A.T. // Springer. 2001. V.12. P.777.
9. Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Бреус Т.К., Рапопорт С.И. // Биофизика. 2005 г.
10. Мелатонин в норме и патологии / Ред. Ф.И.Комаров, С.И.Рапопорт, Н.К.Малиновская, В.Н.Анисимов. М., 2004.

В пещере Гейзенклёстерле, расположенной на юге Германии, найдена флейта из кости мамонта. Ее возраст определен в пределах 30—35 тыс. лет. Ранее в этой же пещере были обнаружены две флейты из костей лебедя и многочисленные фигурки из кости мамонта. Изготавливавшие эти поделки умельцы жили в конце последнего ледникового периода, когда Европу одновременно населяли и неандертальцы, и люди уже современного типа.

Sciences et Avenir. 2005. №696. P.32 (Франция).

Консервативно настроенные круги Италии, поддерживаемые католической церковью, требовали устранить программы по изучению эволюции видов в начальных и средних учебных заведениях страны. Од-

нако в 2004 г. протесты ученых и передовых членов общества возымели свое действие: преподавание дарвинизма и его современных положений восстановлено во всех школах страны.

Министр образования Италии Л.Моратти попросила известного ученого из Института биологии клетки в Риме, лауреата Нобелевской премии Р.Левин-Монтальчини возглавить специальную комиссию, которая представит правительству новый конкретный план преподавания дисциплин, связанных с проблемой развития жизни на Земле.

Science. 2004. V.304. №5672. P.809 (США).

Измерение концентрации взвешенных наносов (что необходимо при решении экологических, гидрологических и

других задач) сегодня производится трудоемким и дорогостоящим методом — путем взвешивания сухого остатка. По мнению А.В.Илларионова (Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург), наиболее перспективен предлагаемый им оптический метод, в основе которого лежит измерение интенсивности светового потока, рассеянного на взвешенных частицах.

Результаты опытных измерений сопоставлены с традиционным весовым способом — расхождение не превышает 20%. Возможность проводить экспресс-измерения предполагает получение большого экономического эффекта.

Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда. Секция 1. СПб., 2004. С.47—48 (Россия).

Химия атмосферы

Куда девается углекислый газ?

Согласно данным Лаборатории наблюдений за климатом Управления по изучению океана и атмосферы США в Боулдере, за 1800—1994 гг., т.е. с начала промышленной революции, содержание углекислого газа в атмосфере возросло с 280 до 380 ppm. Однако этот прирост составил лишь около 50% ожидаемого (исходя из оценок поступления CO₂ в атмосферу в результате работы заводов и фабрик, тепловых электростанций и транспорта). Куда же девается углекислый газ? Этот вопрос давно служит предметом дискуссии среди специалистов¹.

Новый подход к проблеме представил международный коллектив химиков и физиков атмосферы и океана, возглавляемый К.Л.Сабинем (C.L.Sabine; Тихоокеанская обсерватория по изучению морской среды, Сиэтл, США). Разработанная им сложная методика учета разных факторов позволила установить, что с 1800 г. около 48% всего выброшенного в атмосферу CO₂ поглотил Мировой океан. Science. 2004. V.305. №5682. P.352, 367 (США).

Экология

Корабельный червь в Балтийском море

Деревянные детали кораблей, затонувших столетия назад в Балтийском море, не разрушены до сих пор только потому, что в этих водах никогда не обитал шашень (*Teredo navalis*) — двустворчатый моллюск, относящийся к роду корабельных червей. Раковины его имеют зазубренные ребра, с помощью которых шашень проделывает в древесине ходы длиной до

¹ Пляров А.М. Неожиданные потери углерода в экосистемах тундры // Природа. 2005. №4. С.83.

2 м и диаметром до 5 см. В соседнем Северном море и в Атлантике этот корабельный червь водится в изобилии и наносит значительный ущерб портовым сооружениям и подводным частям деревянных судов.

Сегодня ситуация в балтийских водах изменилась: шашень активно расселяется у берегов Германии. Возникла угроза его проникновения и в прибрежье Швеции — об этом недавно заявил К.О.Седерлунд (C.O.Cederlund; Университетский колледж Стокгольма). Корабельный червь может попасть туда через пролив Каттегат с бревнами, досками и с балластными водами, сбрасываемыми в море судами.

Sciences et Avenir. 2005. №695. P.39 (Франция).

Метеоритика

Метеоритное поле в Ливийской пустыне

Чуть менее 50 млн лет назад дождь из камней и огня обрушился на Ливийскую пустыню в Египте. Скорее всего, эти камни были осколками множества метеоритов, расколовшихся при входе в земную атмосферу. На площади более 5000 км² появилась сотня ударных кратеров диаметром от 500 м до 2 км.

Это поле метеоритных кратеров — крупнейшее из открытых к настоящему времени. Ф.Пэллиу (Ph.Pailloeu; Астрономическая обсерватория в г.Бордо, Франция) участвовал в испытании радаров ИСЗ при наблюдениях этой пустыни. Исследование отраженных радиоволн показало наличие необычных кругообразных структур под песками. Заинтересовавшись полученными радарными снимками, Пэллиу провел систематическое исследование астроблем. В первой экспедиции в начале 2004 г. было обнаружено 13 астроблем. Анализ взятых образцов пород под-

твердил их метеоритное происхождение. В следующей экспедиции должно было проводиться картографирование поля ударных кратеров.

Sciences et Avenir. 2004. №693. P.23 (Франция).

Космическая техника

Космический телескоп будет еще мощнее

Ученые и конструкторы Университета штата Аризона (США), Британского Центра астрономической технологии совместно с канадскими и западноевропейскими специалистами ведут согласованную работу по созданию Космического телескопа им.Дж.Уэбба², который предстоит запустить на высокую околоземную орбиту в 2011 г.

Важной задачей является постройка собственно телескопа с зеркалом диаметром 6,5 м, что в 2,5 раза больше, чем у космического телескопа «Хаббл». Кроме того, новый аппарат будет снабжен камерой оригинальной конструкции NIRCам (ведущей наблюдения как в видимой, так и в ближней инфракрасной областях спектра) и спектрометром NIRSPec (многообъектным дисперсионным прибором, работающим в ближнем ИК-диапазоне). Благодаря этому станут доступными для наблюдений те области Вселенной, где, как предполагают, идет формирование звезд первого поколения.

Среди 20 наиболее важных участников работы — коллективы известной Лаборатории им.Резерфорда и Эпплтона в Кембридже, Лейстерского университета, Лондонского университетского колледжа и головной технической фирмы «Astrium» (все — в Англии).

Космический телескоп им.Дж.Уэбба назван в честь бывшего главы НАСА США, при

² Космический телескоп им.Джеймса Уэбба // Природа. 2004. №5. С.82.

котором состоялся запуск кораблей «Apollo» на Луну. Аппарат массой 6200 кг будет доставлен в точку Лагранжа L₂, находящуюся в 1.5 млн км от Земли, где тяготение небесных тел почти уравновешивается. В отличие от «Хаббла», посещение людьми нового телескопа не предусматривается — он должен «полагаться» в работе только на себя и своих земных конструкторов и строителей.

Spaceflight. 2004. V.46. №6. P.228 (Великобритания).

Организация науки

Научно-политический «прорыв» в пустыне

Район к югу от Мертвого моря представлялся мало подходящим для научных исследований: во-первых, это одна из самых засушливых и безлюдных пустынь на Ближнем Востоке; во-вторых, здесь проходит граница между Израилем и арабским миром, не отличающихся добрососедством. Однако в марте 2004 г. усилиями Станфордского и Корнеллского университетов США и научных учреждений Израиля и Иордании в местности Вади-Араба, в 40 км от Мертвого моря и на полпути к северной оконечности Красного, началось строительство научного центра.

Власти договорились, что в государственной границе между Иорданией и Израилем для беспрепятственного посещения совместного научного центра открывается проход, уже получивший название Моста через разлом (научный городок воздвигается на противоположных «берегах» Великого Африканского рифта — разлома земной коры).

Первой научной задачей Центра объявлено согласование каталога геномов обитателей района Мертвого моря и полное его экологическое описание. Участники надеются, что

это даст не только общенаучные теоретические результаты, но и будет способствовать сельскохозяйственному освоению здешних пустыющих ныне земель.

По предложению ЮНЕСКО разрабатывается план археологических изысканий в этой богатейшей древнеисторической области. Не исключено, что ЮНЕСКО внесет этот район в список мест Всемирного наследия, подлежащих особой охране.

Специалисты намерены изучить особенности здешних растений, микро- и макроорганизмов, сумевших поселиться и выжить в экстремальных условиях крайне высоких температур, засушливого климата и засоленных почв. Предстоит создать компьютерную Библиотеку пустыни, где будут храниться полные данные обо всех местных организмах, их приспособительной тактике и взаимоотношениях внутри этой специфической экосистемы. Будут проведены эксперименты по выведению засухо- и солеустойчивых растений.

Постройка и обустройство Центра займет от трех до пяти лет. Прежде чем заполнить 150 вакансий, претенденты из Иордании и Израиля, имеющие научные степени, должны пройти двухлетнюю стажировку в Корнелле или Станфорде. Позже работать в Центре будут приглашены специалисты из Египта и Ливана, а также, возможно, и с палестинских арабских территорий.

Первые подобные попытки уже делались, когда американские специалисты приступили к исследованиям в заливе Акаба Красного моря с участием океанологов Иордании и Израиля. Но политическая обстановка препятствовала сотрудничеству, и исследование пришлось вести порознь. Примерно то же произошло с начавшимися было совместными археологическими

работами на юге Иорданской пустыни, где раскопки были прерваны в 2002 г. На этот раз успех более вероятен. Главы обоих государств заявили о своей поддержке. Мероприятие субсидируют частные лица из США. Science. 2004. V.303. №5663. P.1457 (США).

Биология

«Перековать эсминец в кораллы»

Национальный морской аквариум в Плимуте (Англия) приобрел снятый с вооружения эскадренный миноносец «Scylla». В апреле 2004г. он был взорван и затоплен у берегов п-ова Корнуэлл с целью создания первого у Британских о-вов искусственного кораллового рифа. Отныне корпус бывшего боевого судна береговой охраны длиной 113 м лежит на дне залива Уитсанд.

Ожидается, что в течение ближайшего десятилетия вокруг корпуса возникнет вполне развитый коралловый риф. О такой возможности говорит, в частности, образование коралловых построек в водах, омывающих американский штат Аляска, где зимние температуры еще ниже, чем в морях у южного побережья Великобритании. Ученые намерены следить за появлением кораллообразующих полипов, за их постепенным развитием и превращением в сложную биологическую систему, для чего в ближайшее время на дне будут установлены камеры постоянного наблюдения.

Предполагается, что залив Уитсанд превратится в акваторию, которая привлечет множество туристов, что будет способствовать оживлению экономики этого не слишком богатого пока района. Приобретение бывшего боевого корабля обошлось Национальному морскому аквариуму в 368 тыс. долл. США.

Science. 2004. V.304. №5668. P.203 (США).

Дерево корненожек

В.В.Алёшин, А.П.Мыльников, Н.Б.Петров

В предыдущей статье мы рассмотрели филогенетическое древо эвкариот в целом и выделили 12 монофилетических супертаксонов, в половине которых имеются более или менее многочисленные группы амёб. Об одном таком таксоне мы уже рассказали, в оставшихся пяти два представлены исключительно амёбами — это центрохелидные солнечники и лобозные амёбы.

Супертаксон солнечники

Центрохелидные солнечники — супертаксон по рангу, но не по числу видов, которых всего около сотни [1]. Подобно другим солнечникам, они используют аксоподии как ловчую сеть для поимки добычи. От шаровидных клеток во все стороны равномерно отходят прямые неветвящиеся аксоподии. Внутри каждой тянется пучок микротрубочек, организованных в гексагональную в поперечном сечении структуру. Поскольку центрохелиды полностью лишены жгутиков, у них есть своеобразный центр организации микротрубочек, не имеющий отношения к базальному телу. В электронном микроскопе он выглядит как плотный диск в центре клетки, от которого к аксоподиям расходятся пучки

микротрубочек. Клеточная поверхность большинства центрохелид покрыта кремниевыми чешуйками и игловидными спикулами. Митохондрии центрохелид имеют пластинчатую форму крист (складок внутренней мембраны), такую же, как у животных, грибов, зеленых растений, красных водорослей и еще немногих групп. Но у большинства одноклеточных кристы трубчатой формы. Центрохелиды — не родня десмотерацидным солнечникам, входящим в супертаксон церкомонад, а их сходная внешность объясняется образом жизни: эти сидячие или малоподвижные бентосные хищники улавливают мелких жгутиконосцев частоколом аксоподий и поедают их. Такая форма возникла по крайней мере еще дважды или трижды в другом супертаксоне, среди разножгутиковых — актинофриидных и цилиофриидных солнечников, а также у гетеротрофных видов пединеллид.

Разножгутиковые

Большинство видов этого супертаксона — микроскопические одноклеточные жгутиконосцы. Встречаются нитчатые формы, у диатомовых клетки заключены в двустворчатый кремниевый домик, а бурые водоросли образуют многоклеточные талломы, иногда гигантские, до 30 м длиной. У многих видов тело неподвижное, неоп-

ределенно-неправильной формы, грибовидной или мицелиоподобной. Гифохитридиевые и траустохитриевые паразитируют главным образом на водорослях, поэтому они мелкие и не образуют разветвленного мицелия. У них можно выделить тело клетки и тонкие выросты, которые тянутся в субстрат. Оомицеты, напротив, нацелены на большие массы органики, живой или мертвой. Это водные «грибы» сапролегния, ахлия или завоевавшая сушу всех континентов фитофтора — паразит пасленовых: картофеля и томатов. Оомицеты, как и грибы, прорастают в субстрат почти целиком, только спорангий выходит наружу. Хотя форма тела оомицетов, как и грибов, неопределенная, они не амёбы: амёба меняет форму не из-за роста, а в процессе образования ложноножек, а ее питание связано с захватом и фагоцитозом заметных частиц, а не отдельных органических молекул.

Сложнее классифицировать тип организации лабиринтовых. Они, как оомицеты, паразитируют на крупных пищевых объектах, например на морской траве зостере или на устрицах. Их вегетативное тело — большой сетчатый плазмодий, состоящий из тонких анастомозирующих нитей. В этой внеклеточной эктоплазматической сети нет ядер или каких-либо других органелл, за исключением вакуолей, но не простых. В каждой лежит веретеновидная клет-

© Алёшин В.В., Мыльников А.П., Петров Н.Б., 2005
Окончание. Начало см. в №8.

ка, соединенная с эктоплазмой тонким мостиком (ножкой) сложного строения (сагенетогеносомой), по которому плазмалемма веретеновидной клетки переходит непосредственно в оболочку вакуоли. Таким образом, эктоплазматическую сеть можно рассматривать как ложноножку, необычайно разросшуюся вокруг выпустившей ее клетки. А поскольку в сети лабиринтовых множество клеток, то это как бы одна общая ложноножка множества клеток. Они перемещаются в эктоплазматических трубках в разных направлениях с высокой скоростью. Считается, что их подвижность обеспечивается теми же самыми актином и миозином, что амeboидное движение и мышечное сокращение. Раз эктоплазматическая сеть — это гигантская ложноножка, то неудивительно, что клетки двигаются с ее помощью (внутри ложноножки).

Кроме веретеновидных, в состав колонии лабиринтовых входят и амeboидные клетки, которые выпускают обычные ложноножки и фагоцитируют бактерии и другие мелкие пищевые объекты. Так что тип организации лабиринтовых похож на грибной только на первый взгляд. Двужгутиковые зооспоры лабиринтовых устроены наподобие зооспор остальных разножгутиковых, например траустохитриевых. Последние можно рассматривать как одиночных близких родственников лабиринтовых: от их округлой клетки отходит одна ножка, которая далее разветвляется, но не окружает клетку целиком и не сливается с ложноножками других клеток.

Лобозные амебы и слизевики

Хотя лобозных амев (амев с широкими ложноножками, таких как протей) открыли из амев первыми, до сих пор они остаются большой филогенети-

ческой загадкой. Только в последние годы история этого супертаксона начинает понемногу проясняться. Первый факт, родство почти всех лобозных амев, обнаружили при сравнении нуклеотидных последовательностей рРНК [2, 3], так же, как это было сделано ранее в отношении филозных амев. Стало быть, амевы — не просто виды произвольных групп протистов, потерявших жгутики: большинство современных видов — потомки не одной, но относительно немногих предковых форм. В XIX в. их искусственно объединили в один таксон, однако витавшая в умах систематиков последние полвека идея о широкой полифилии амев также была некоторым преувеличением.

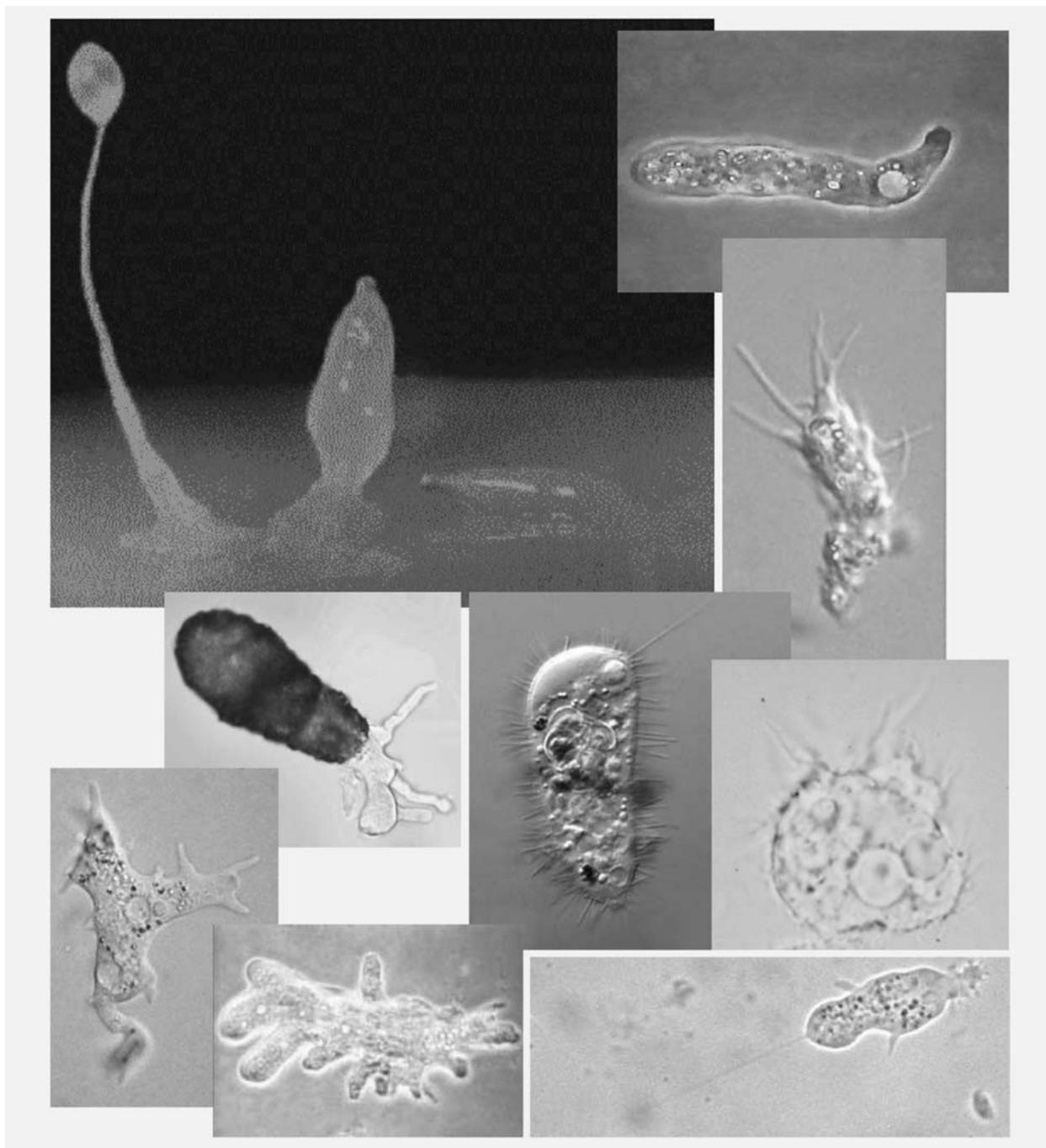
Второе достижение связано с установлением родства лобозных амев с многоклеточными протистами (диктиостелиевыми), с видами, имеющими жгутики, именно со слизевиками (настоящими миксомицетами) и с анаэробными амевфлагеллятами. Но для этого знаний о последовательностях рРНК оказалось недостаточно, потребовалась информация о десятках генов, которую получили в последние годы [4]. Диктиостелиум на одноклеточной стадии выглядит как мелкая амeba с филозными и лобозными ложноножками, ползающая в почве или навозе, собирая бактерии и дрожжевидные грибы, и размножающаяся обычным клеточным делением. Небольшую часть добытых веществ она тратит, на первый взгляд, совершенно напрасно: выделяет в навоз небольшое количество нуклеотидов — циклического аденозинмонофосфата (цАМФ). Это обычно происходит, когда пищи становится меньше и клетки голодают. По достижении высокой плотности амевы уже могут обнаружить цАМФ в среде. Двигаясь по градиенту возрастания концентрации нуклеотида, они начинают сползаться. Вблизи маленькой груп-

пы случайно сблизившихся амев концентрация цАМФ повышается, что притягивает все новых и новых амев диктиостелиума. В результате сотни тысяч собравшихся особей образуют хорошо заметный глазом многоклеточный псевдоплазмодий, который приобретает червеобразную форму и начинает ползти к свету. Выбрав подходящее место, псевдоплазмодий формирует плодовое тело — блестящую капельку или головку на тонкой ножке. Клетки внутри головки превращаются в цисты (споры), которые, завершая жизненный цикл, прорастут амевами, а клетки, образовавшие ножку и оболочку головки, пропадут, не оставив потомства.

Похожий жизненный цикл характерен и для слизевиков. Их одиночные клетки — не обязательно амевы, это могут быть и жгутиконосцы с одним, двумя равными или двумя неравными жгутиками. Амевы и жгутиконосцы легко превращаются друг в друга. Второе их отличие от диктиостелиевых проявляется на многоклеточной стадии. Собственно, таковой у слизевиков нет: собравшиеся амевы не просто прижимаются друг к другу, а сливаются, образуя единую гигантскую клетку — настоящий плазмодий с сотнями тысяч ядер. Плазмодии и плодовые тела настоящих миксомицетов обычно более крупные, с вишню или еще больше, ярко окрашенные. Многие их видели на пнях.

Мало известно, что такие амевы, как протей, считающиеся одиночными, при определенных условиях также образуют временные многоклеточные агрегаты из нескольких десятков амев [5]. Видимо, у лобозных амев способность к клеточному узнаванию широко распространена.

Еще одна группа лобозных амев со жгутиками — мастигамебы, безмитохондриальные обитатели анаэробных биотопов [6, 7]. Их клетки имеют направленный вперед жгутик и многочислен-



Лобозные амебы.

ные ложноножки. Рудименты жгутиков нашлись и у родственной им амебы пеломиксы [8]. Они рассеяны во множестве по ее поверхности и часто отличаются «аномальным» набором микротрубочек (по типу 9+1, 9+0, 8+1 и др. вместо канонического 9+2). Поскольку жгутики

пеломиксы неподвижны и не играют роли в ее движении, их долго не могли обнаружить. У близкого родственника пеломиксы — дизентерийной амебы — рудиментов жгутика нет, зато есть рудимент митохондрии — маленький пузырек в цитоплазме, окруженный двойной

мембраной. В нем иммунохимическими методами выявлены белки, которые в обычных аэробных клетках локализируются в митохондриях, хотя кодируются ядерными генами. Значит, анаэробные амебы произошли от аэробных митохондриальных жгутиковых предков.

Гетеролобозные амёбы

Много лет назад один из авторов, еще работая над дипломным проектом, многократно пытался выделить в чистую культуру какого-то мелкого быстро плавающего жгутиконосца, перенося одну клетку из пробы прудовой воды в маленькую каплю, помещаемую в герметичную камеру. Но раз за разом никаких плавающих клеток в капле на следующий день не находилось. И только проследив, что происходит с клеткой при манипуляциях, удалось выяснить, что жгутиковая клетка буквально за несколько минут превращалась в амёбу, ползающую по поверхности капли. Эта амёба *Naegleria gruberi* (неглерия) оказалась представителем интереснейшей группы амёбофлагеллят — одноклеточных организмов, легко переходящих из жгутиковой стадии в амёбную и обратно. При этом в амёбе не видно никаких остатков жгутикового аппарата. Этим неглерия похожа на лобозных амёб, хотя относится к совсем другому супертаксону — гетеролобозным амёбам. Эта группа внешне совершенно непохожих организмов осталась крохотным островком стабильности в системе протистов. Ее выделили всего 20 лет назад из общей массы корненожек, жгутиконосцев, миксомицетов и инфузорий [8–10], а ее монофилия полностью подтвердилась строением генов рРНК и других генов [11]. Гетеролобозы включают амёб, жгутиконосцев, виды с чередованием амёбной и жгутиковой стадий, особых гетеролобозных «миксомицетов» — акразиевых (они очень похожи на диктиостелиума) и стефанопогона — ресничного, сходного с инфузорией. Общие для них признаки — дисковидная форма крист митохондрий; своеобразный тип митоза (закрытый отромитоз), протекающий без растворения ядерной оболочки; отсутствие полового

процесса. Кроме того, гетеролобозные амёбы отличаются «пульсирующим» способом движения. Если у амёбы протей и других лобозных амёб постоянно заметны токи цитоплазмы и конфигурация ложноножек непрерывно меняется, гетеролобозы только время от времени выпускают одну ложноножку, в которую перетекает все тело клетки. Затем следует перерыв до появления следующей ложноножки.

Именно представители гетеролобоз особенно часто вызывают страшный амёбный энцефалит. Но сейчас интерес к ним возрастает не только среди медиков. Это связано с открытием некоторых деталей в строении клетки и структуры отдельных генов гетеролобоз, которые кажутся очень примитивными по сравнению с другими эвкариотами. Большого внимания заслуживает наличие сложного жизненного цикла у многих видов, особенно акразиевых — самых обычных амёб на одноклеточной стадии и настоящих многоклеточных на стадии псевдоплазмодия. В дальнейшем родстве с гетеролобозами состоят эвгленовые, кинетопласты (в том числе трипаносомы и лейшмании), трихомонады, гипермастигиины, лямблии и многочисленные обитатели бескислородных биотопов, которые только сейчас попадают в поле зрения протистологов.

Заднежгутиковые — еще один супертаксон со множеством амёб

Нам остается рассмотреть шестой монофилетический супертаксон, к которому мы сами принадлежим. Хотя в нем немало видов с амёбными клетками, обычно их не принимают в расчет и характеризуют таксон по жгутиковым представителям. Например, одноклеточные стадии многоклеточных животных — сперматозоиды — чаще всего снабжены един-

ственным направленным назад жгутиком («хвостом») — вот животных и относят к заднежгутиковым. Таковы и воротничковые жгутиконосцы, и зооспоры низших грибов. Это признак довольно редкий и необычный, свидетельствующий в пользу общего происхождения от одноклеточного предка. Для эвкариотической клетки типично два жгутика, и рудимент второго жгутика — вторая центриоль — обычна у заднежгутиковых. К сожалению, такой легко наблюдаемый признак, как число жгутиков, не всегда позволяет установить родственные связи. Большинство грибов полностью потеряло жгутики и центриоли; даже у некоторых животных (круглых червей и некоторых видов членистоногих) жгутики встречаются почти исключительно в рецепторных клетках.

Еще сложнее с безжгутиковыми видами, которые ни на кого не похожи. Наибольшую сумятицу внесли в свое время миксоспоридии и микроспоридии. Первые существуют в виде слабоподвижного амёбного многоядерного плазмодия — полостного паразита позвоночных и беспозвоночных. Они оказались специализированными Metazoa. Микроспоридии, вездесущие внутриклеточные дрожжевидные паразиты позвоночных, беспозвоночных и одноклеточных, совершенно неподвижные, лишённые митохондрий и центриолей, рибосомы которых на 20% меньше прокариотических, долгое время рассматривались как самые примитивные эвкариоты. Теперь по совокупному анализу многих генов они признаны деградировавшими заднежгутиковыми, близкими к грибам. Более подробно мы на микроспоридиях не останавливаемся, поскольку наша задача — обзор амёбных форм. Но вначале рассмотрим так называемый воротничок жгутиковых клеток.

У воротничковых жгутиконосцев имеется своеобразная

структура, окружающая жгутик, которую ни с чем не спутать, — воротничок. Гипотеза о происхождении многоклеточных животных из колонии жгутиконосцев получила всеобщее признание, когда в середине XIX в. обнаружили, что клетки свободноживущих воротничковых жгутиконосцев под микроскопом совершенно не отличаются от клеток, выстилающих жгутиковые камеры губок, но больше их ни с какими другими клетками невозможно спутать из-за воротничка. Воротничковые клетки есть и у двустороннесимметричных животных — это клетки ресничного пламени в протонефридиях выделительной системы. Под электронным микроскопом в деталях разобрали устройство воротничка. Он состоит из тесно прижатых друг к другу, как пальцы в перчатке, тонких выростов клетки — микроворсинок. Работа жгутика приводит к тому, что на воротничок оседают мелкие пищевые частицы. Если солнечник ловит крупную добычу сетью аксоподий, то здесь добыча — бактерии, которые «прилипают» к воротничку, а затем транспортируются к его основанию, где и фагоцитируются клеткой. На самом деле «прилипание» — процесс вряд ли менее специфический и сложный, чем конформационные перестройки белков в стрекательных органеллах, как и транспорт по воротничку по сравнению с передачей добычи аксоподиями солнечника. Микроворсинки воротничка можно рассматривать как своеобразные ложноножки: они не вытягиваются, на них не ползают, но ими можно подтянуть бактерию к цитостому. По такой трактовке воротничковая клетка — это своеобразная амебофлагеллята с постоянной формой ложноножек. Ее отличие от солнечника определяется специализацией по размеру пищевых частиц. Промежуточное положение занимает жизненная форма пединеллид из разножгутиковых и *Ministeria* из заднежгутиковых — у них тоже жгутик

создает пищевой ток, но воротничок построен из редких отдельных ложноножек, не спаянных воедино.

Заднежгутиковые без жгутиков

Одна из таких групп — грибы — объект специальных курсов по микологии в университетах, они не амёбы. Другая группа давно известна как голые филозные амёбы нуклеарии. Только раньше не знали, что их надо относить к заднежгутиковым. Нуклеарии имеют две жизненные формы, обе безжгутиковые. Ползущая по твердой поверхности амёба вытягивается и уплощается, выставляя вперед пучок изящных тоненьких филоподий. Другая форма — флотирующая, в таком виде нуклеарии расселяются с токами воды. Клетка при этом становится округлой, филоподии равномерно растопырены во все стороны.

Парящая в воде амёба общими чертами напоминает всплывший солнечник, у которого, однако, отсутствуют стрекательные органеллы на ложноножках. Нуклеарии не используют ложноножки как ловчую сеть. Питаются они одним из двух способов. Первый обычен для амёб: ползущая нуклеария фагоцитирует попавшиеся ей на пути мелкие пищевые объекты — бактерии, мелкие водоросли. Но если встречается крупная клетка, то у многих видов нуклеарий в запасе есть и второй способ. Амёба прикрепляется к клеточной стенке, продырявливает ее и запускает внутрь клетки разветвленную ложноножку, с помощью которой постепенно вытягивает ее содержимое. Такую стратегию нуклеарии из семейства вампиреллид используют, нападая на крупную добычу (обычно клетки водорослей). Для некоторых видов нуклеарий (или по крайней мере похожих на них амёб) характерно бесполое объедине-

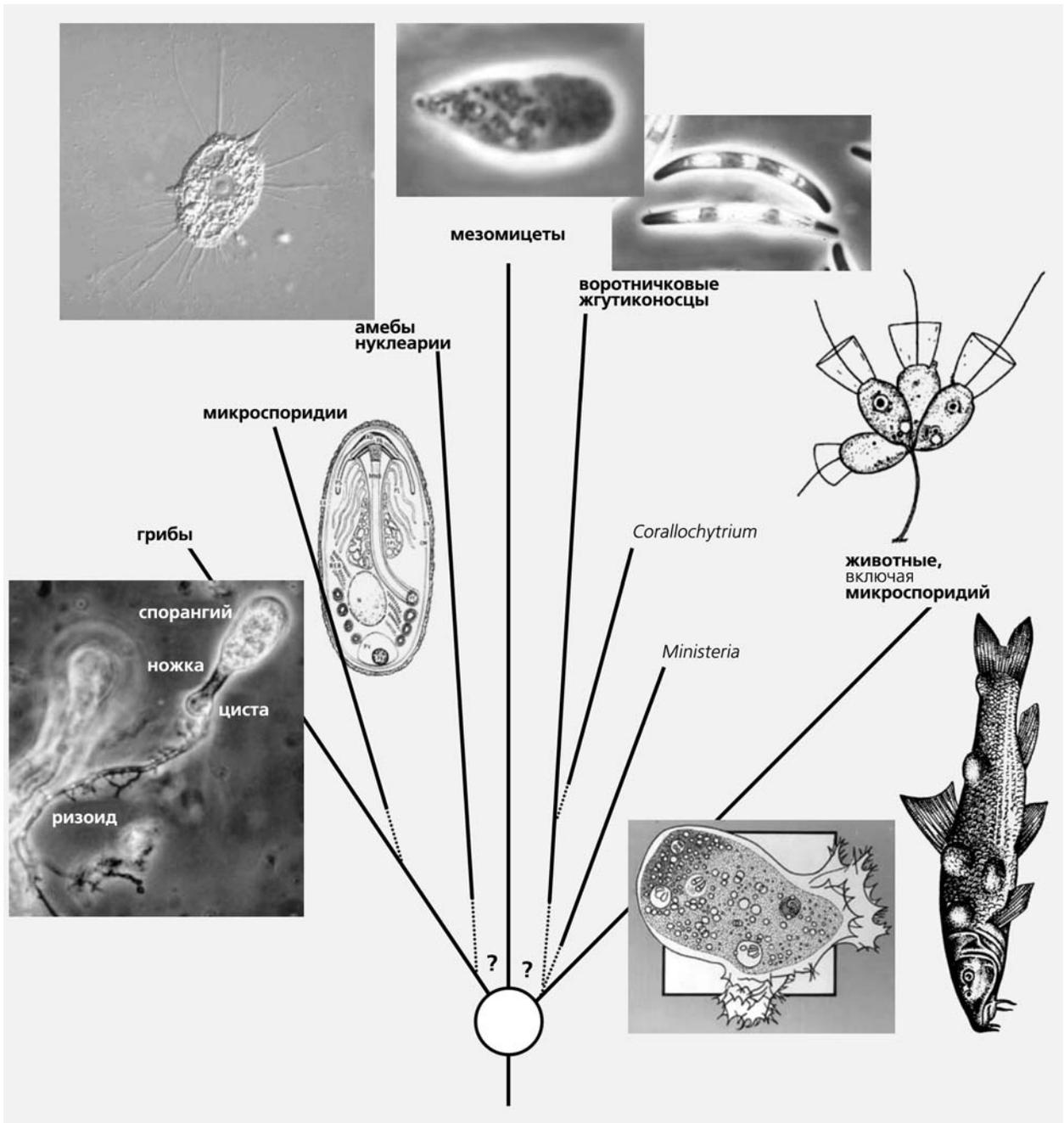
ние в крупные (1 мм) разветвленные или сетчатые плазмодии с десятками ядер.

Данные о последовательностях генов рРНК нуклеарий однозначно свидетельствуют об их принадлежности к заднежгутиковым, но над установлением их ближайших родственников еще придется поработать. Судя по гену 28S рРНК, скорее всего нуклеарии ближе к грибам [12]. Действительно, проникающую внутрь клетки-жертвы ложноножку вампиреллид можно сопоставить с ризомицелием низших хитридиевых грибов — безъядерным выростом клетки, проникающим в субстрат. Основное отличие ризомицелия от ложноножки вампиреллид заключается в том, что через него идет поглощение отдельных органических молекул, а не фагоцитоз частичек протоплазмы.

Еще один кандидат на роль предка многоклеточных животных

Совсем недавно установлена еще одна группа преимущественно (но не исключительно) амёбодных заднежгутиковых, которая не имеет пока общепринятого названия. Ее история началась 10 лет назад с неожиданно обнаруженного сходства в нуклеотидной последовательности гена 18S рРНК возбудителя розеточной (rosette) болезни лососевых рыб и воротничковых жгутиконосцев [13]*. Тут же последовал ряд работ, обосновавших новую группу микроорганизмов (паразитов позвоночных и членистоногих), которая занимала на сконструированных деревьях промежуточное положение между одноклеточными и грибами или между грибами и многоклеточными животными. За этой группой закрепилось название DRIPs — аб-

* В настоящее время «rosette agent» классифицирован как *Sphaerothecum destruens*, представитель Mesomycetozoea (Arkush et al., 2003).



Заднежгутиковые. Пунктиром показаны предположительные родственные связи, а нерешенная начальная радиация — белым кружком.

бревиатура, представляющая акроним названий первоначально отнесенных к ней родов — *Dermocystidium*, rosette agent, *Ichthyophonus*, *Psorospermium* [14]. По мере включения в нее все более широкого круга организмов более употребительными стали названия Ichthyos-

porea, Mesomycetozoa или Mesomycetozoea. Обычно эта группа обозначается классом, хотя по правилам кладистики ей необходимо присвоить ранг, одинаковый с рангом грибов или животных.

Видам Mesomycetozoea свойственен сложный жизненный

цикл с чередованием различных типов вегетативных клеток и спор [15]. У большинства сферические вегетативные клетки образуют эндоспоры; для других характерны подвижные амебы, например для паразита насекомых амებიидума (*Amoebidium*); некоторые виды обра-

зуют плазмодий, а ихтиофонус (*Ichthyophonus boferi*) — плазмодий и септированный мицелий, который производит сферические одноклеточные спорангии с эндоспорами. Из-за этого сходства ихтиофонуса принимали за паразитический гриб неясного систематического положения, под именем которого и указывали в руководствах по болезням аквариумных рыбок. Споры *Mesomycetozoa* прорастают амебами либо одноклеточными зооспорами. У многих видов жгутиковые стадии не обнаружены и, вероятно, отсутствуют.

Как объяснить тот парадокс, что *Mesomycetozoa* — один из кандидатов на роль предка (сестринской группы) многоклеточных животных — состоит из паразитов многоклеточных? По нашему мнению, паразитические *Mesomycetozoa* просто лучше всего известны, а в целом эта группа — айсберг, большая часть видов которой пока скрыта от исследователей. Это подтверждается косвенными данными, оценить которые нам поможет небольшое отступление. Микробиологи знают, что при посеве пробы из какой-то сложной природной среды (например, почвы) на чашку Петри с питательным агаром на каждом конкретном типе микробиологической среды вырастает не более 1% видов бактерий, содержащихся в данном материале. Для многих видов вообще до сих пор не удалось подобрать пригодную для их культивирования среду. Одноклеточные эвкариоты не так капризны, но тоже могут проявлять специфичность к пище — виду бактерий. В последние годы разработана техника изучения биоразнообразия, позволяющая проводить эту процедуру без выведения микроорганизмов в чистую культуру. По этой методике выделяют из природных субстратов суммарную ДНК, амплифицируют из нее с помощью полимеразной цепной реакции гены рРНК, клонируют их в кишеч-

ных палочках и анализируют последовательности сотен клонов. Такая процедура недешева, зато позволяет выявить те виды микроорганизмов, которых в природных сообществах много, но обнаружить их на искусственных средах не удается. С помощью этой техники в разных природных сообществах найдены гены неизвестных видов *Mesomycetozoa*. Ничто не мешает предположить, что источником ДНК для них послужили не только споры паразитических форм, но и свободноживущие виды.

О большем, чем предполагается, разнообразии *Mesomycetozoa* и родственных групп свидетельствует пример амебы *Capsaspora owczarzaki* — симбионта легочного моллюска *Biomphalaria glabrata*. Питается она спороцистами кровяной двуустки *Schistosoma mansoni* и обеспечивает резистентность моллюска-хозяина к двуустке. Микроскопические исследования не позволяют отличить капсаспору от амеб нуклеарий, тогда как последовательность малой рРНК показывает, что на самом деле *C.owczarzaki* ближе к *Mesomycetozoa*, чем к нуклеариям. Таким образом, существующие морфологические диагнозы каждой из групп заднежгутиковых не позволяют различить их представителей. Не исключено, что какие-то свободноживущие амебы, отнесенные к семейству нуклеарий, на самом деле принадлежат к *Mesomycetozoa*.

О недостаточном знании заднежгутиковых говорят описания видов, не нашедших пока бесспорного положения в системе, например, *Corallochytrium limacisporium*. Этот вид, вероятно, родственен воротничковым, но его клетки, окруженные толстой клеточной стенкой, не имеют жгутика; *Ministeria vibrans* — морской жгутиконосец с радиально расходящимися микроворсинками (микровиллями), подобными воротничковым, однако не образующими

воротничка. На дереве рРНК он занимает положение сестринской группы воротничковых жгутиконосцев либо многоклеточных животных [16]. Наконец, из природных субстратов выделены гены, занимающие обособленное положение на дереве рРНК заднежгутиковых; о морфологии клеток, несущих эти гены, ничего не известно.

У заднежгутиковых различна не только внешняя морфология, но и ультраструктура клеток. Так, форма крист митохондрий, обычно постоянная в пределах больших групп одноклеточных, у них неодинакова. Кристы *Mesomycetozoa*, как у большинства видов заднежгутиковых, пластинчатые, однако у *Ichthyophonus boferi* они трубчато-везикулярные. У нуклеарийных амеб кристы дисковидные, а у животных, наряду с обычными для них пластинчатыми кристами, как редкое исключение в немногих таксонах (дициемиды, отдельные виды миксоспоридий) или как патологическая клеточная реакция на осмотический шок в гепатоцитах позвоночных встречаются трубчатые кристы.

Монофилетические таксоны в филогенетической системе выделяются (по В.Хеннигу) синапоморфиями, а таксоны в естественной системе — диагнозами. Ясного диагноза таксона, объединяющего микроспоридии, одноклеточные воротничковые жгутиконосцы, безжгутиковые амебы нуклеарии, грибы и многоклеточные животные, пока нет, и вряд ли он будет разработан в будущем. Для этого таксона найдены только молекулярные синапоморфии. Пример заднежгутиковых, представленных столь разными формами, заставляет усомниться в том, что для любой монофилетической группы можно выделить содержательный морфологический диагноз.

* * *

На заре жизни амебоидная фагоцитарная активность дале-

ких предков эвкариотов привели к захвату ими свободноживущих аэробных бактерий, давших начало митохондриям, и фотосинтезирующих бактерий, прародителей хлоропластов. Видимо, именно способность к амeboидному движению и связанному с ним фагоцитозу обусловила главные различия между прокариотами и эвкариотами. В организме многоклеточных животных мы видим множество незаменимых функций амeboидных клеток. В мире протистов амeboидные формы встречаются в разных неродственных таксонах, и по крайней мере в двух из них (у диктиостелиевых и акразиевых) амeboиды непосредственно переходят в многоклеточное состояние. Спрашивается, не возникли ли многоклеточные животные как агрегация амeboидов наподобие диктиостелиевых и акразиевых? Не лучше ли принять такую гипотезу взамен старой о происхождении животных из колоний жгутиконосцев? Актуальность таких идей повышается в последнее время [5]. Кратко рассмотрим такую возможность.

Многоклеточное животное — это агрегат генетически сходных потомков одной клетки — зиготы. Напротив, псевдоплаз-

модий диктиостелия и акразия образован теми клетками, которые приползли на сигнал, и может состоять из генетически разнородных клеток, т.е. представлять собой генетическую химеру. Жизненный цикл Metazoa напрямую несопоставим с жизненным циклом акразия и диктиостелия, и они не могли быть предками животных. Акразий, диктиостелий и животные — это неродственные организмы из разных супертаксонов. Однако сходство в поведении их клеток вряд ли случайное. Клональные клетки колонии, которую представляет собой индивидuum животного, должны посылать, правильно понимать и реализовывать в поведении сигналы других клеток, так же как и не принадлежащие к одному клону клетки псевдоплазмодия. Возможно, животные, акразиевые и диктиостелиевые используют в своих жизненных циклах элементы клеточного поведения, выработанные еще древнейшими эвкариотами (конечно, в измененном виде). Основой клеточного поведения служили те таксисы и способы регуляции метаболизма, которые живые существа приобрели очень давно, а мы находим их в клетках бактерий, использующих,

в частности, такие внутриклеточные сигнальные вещества, как цАМФ. Бактерии умеют распознавать сигналы соседних клеток и изменять работу отдельных генов в зависимости от плотности клеточной популяции. Главнейшее свойство клеток многоклеточного — способность ограничить свое размножение в зависимости от нужд соседних клеток. Бактерии тоже регулируют свой рост и образуют на плотной среде колонии характерной формы, по которой микробиологи их отличают. Один из примеров регуляции деления — это образование покоящихся стадий — спор и цист. Обычно этот процесс начинается задолго до того, как питательные вещества исчерпаны, и представляет собой вариант клеточной дифференцировки. Так что, по всей видимости, предки многоклеточных уже умели распознавать соседние клетки и дифференцироваться сообразно с полученными от соседей сигналами. Эта способность приобрела еще большее значение при соединении амeboидных и жгутиковых стадий в единый агрегат, подобно тому, как они соединены в многоклеточном теле современных губок. ■

Исследования выполнены при поддержке программы «Научные школы Российской Федерации» (проект НШ-1712.2003.4) и Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 05-04-48180, 02-04-48958, 02-04-48265).

Литература

1. Микрюков А.А. Центрохелидные солнечники. М., 2002.
2. Milyutina I.A. et al. // Gene. 2001. V.272. №1–2. P.131–139.
3. Bolivar I. et al. // Mol. Biol. Evol. 2001. V.18. №12. P.2306–2314.
4. Baptiste E. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2002. V.99. №3. P.1414–1419.
5. Серавин Л.Н., Гудков А.В. // Зоол. журн. 2003. Т.82. №10.
6. Silberman J.D. et al. // Mol. Biol. Evol. 1999. V.16. №12. P.1740–1751.
7. Алешин В.В. Эукариоты, лишённые митохондрий // Биология в школе. 2004. №3. №4.
8. Гудков А.В., Серавин Л.Н. Класс Peloflagellata // Протисты. Ч.1. СПб., 2000. С.508–516.
9. Page F.C., Blanton R.L. // Protistologica. 1985. №21. P.121–132.
10. Кусакин О.Г., Дроздов А.Л. Филема органического мира. Ч.2. СПб., 1998.
11. Nikolaev S.I. et al. // J. Eukaryot. Microbiol. 2004. V.51. №5. P.575–581.
12. Medina M. et al. // Int. J. Astrobiology. 2003. V.2. P.203–211.
13. Kerk D. et al. // Mar. Biol. 1995. V.122. P.187–192.
14. Ragan M.A. et al. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1996. V.93. №21. P.11907–11912.
15. Mendoza L. et al. // Annu. Rev. Microbiol. 2002. V.56. P.315–344.
16. Cavalier-Smith T., Chao E.E. // J. Mol. Evol. 2003. V.56. №5. P.540–563.

Грот Александровского сада, археология и... мухоморы

Т.Д.Панова,
доктор исторических наук
Музей-заповедник «Московский Кремль»

Когда в 2004 г. в Александровском саду Москвы началась реставрация Грота — памятника садово-парковой архитектуры начала XIX в., археологи музея-заповедника «Московский Кремль» не рассчитывали на интересные находки. Этот участок второй надпойменной террасы левого берега р.Неглинной, как показывали шурфовки, проведенные там еще в 1970-х годах, никогда не был заселен людьми.

Время изменило древний рельеф этой части города. Попробуем мысленно встать в центре Александровского сада и представить себе ту природную ситуацию, которую могли наблюдать жители средневековой Москвы — города XII—XIV вв. Находясь на берегу Неглинной, они видели высокий холм на месте Грота (он был выше берега Неглинной на 8 м), за ним — следующую возвышенность (надо прибавить еще 6—8 м), занятую ныне зданием Арсенала — эта постройка выглядит из-за Кремлевской стены. На другом берегу Неглинной — на месте здания Манежа — размещался тоже возвышенный участок второй надпойменной террасы, за которым мягкие склоны вели к следующему холму — здесь сегодня

стоят памятник М.В.Ломоносову и постройки старого Университета. А в XII—XV вв. на этой территории, как выяснилось во время археологических раскопок конца 1990-х годов, распахивали поля и сеяли хлеб (рожь и пшеницу).

Что же происходило на месте, которое в 1820-е годы занял Грот, украшенный двумя фигурами львов? В начале 18-го столетия возле Средней Арсенальной башни (тогда она называлась Безымянной) насыпали один из болверков (высокую площадку для размещения артиллерийских орудий), так как Петр Великий опасался нападения шведов на столицу России и организовал укрепление Кремля. Раскопки между Гротом и Кремлевской стеной с очевидностью показали, что землю для

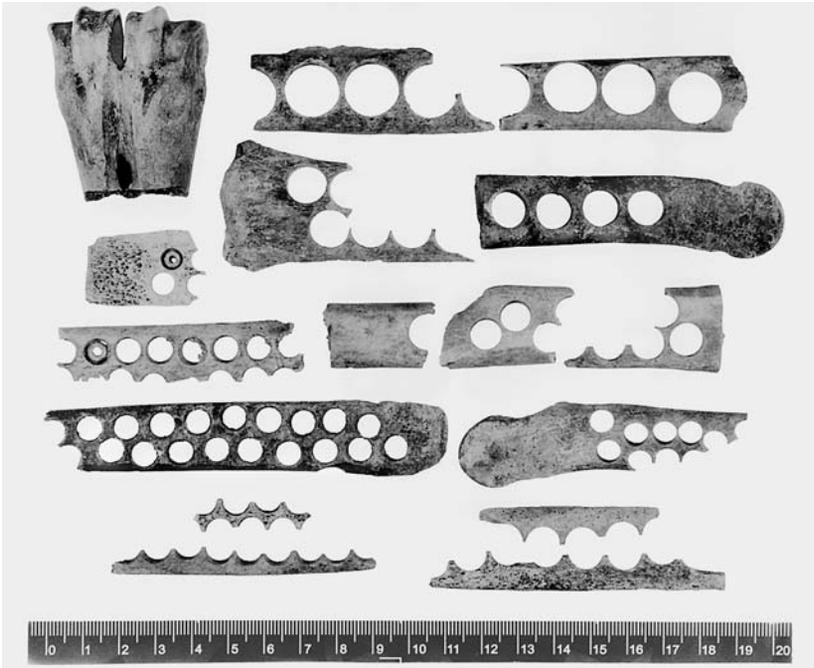
засыпки памятника брали где-то на территории города, а частично — и рядом, в пойме р.Неглинной. Но в археологическом плане наиболее интересными оказались пласты земли, привезенные для засыпки несущих конструкций Грота.

Сегодня мы вряд ли сможем определить, из какого района Москвы доставили этот грунт. Он представлял собой жилой городской слой с археологическим материалом XIV—XVIII вв. Как всегда, основную массу находок (около 2 тыс. экземпляров) составили фрагменты глиняной посуды разных типов — горшков, мисок, кувшинов, сковородок. На обломках некоторых кухонных горшков остались следы продуктов, которые в них варили. Химический анализ, проведенный Е.И.Александровым



Глиняный ритуальный сосудик (XV в.) и каменный оселок для заточки железных ножей (XVI в.).

© Панова Т.Д., 2005



Отходы пуговичного производства, существовавшего в Москве в XVI—XVII вв. Вверху слева — отсеченный эпифиз кости крупного рогатого скота.

ровской, показал, что в одном из сосудов, относящихся к XV в., сохранились остатки пищи из ячменя или гороха — эти растения, как правило, содержат много железа. Скорее всего, то была каша — одно из основных блюд средневекового меню русских людей.

Но совсем неожиданным оказалось присутствие в веществе, сохранившемся на внутренней поверхности осколков другого горшка 17-го столетия, повышенного количества меди, цинка и... ванадия. Последний элемент активно накапливается в мухоморах! Видимо, остается признать, что определенная категория москвичей того времени использовала эти грибы в качестве галлюциногенов. (Автору этой заметки вспомнились рассказы отца, проработавшего на Чукотке и Камчатке около 40 лет, о том, что местные жители использовали отвар мухоморов как дурманящее средство, варили эти грибы не менее трех дней. В «Природе» тоже в свое

время публиковались соответствующие сведения*.)

Вообще находки из грунтовой засыпки оснований Грота (а они заглублены на 5–6 м) дали немало пищи для размышлений. Например, есть среди находок человеческие останки (несколько костей и черепов) и ритуальный поливной сосудик XV в. Такие глиняные чашечки с остатками елеч помещали в гроб после отпевания умершего. Значит, грунт для Грота частично взяли с какого-то старого и уже заброшенного городского кладбища.

В земле найдены также куски железных шлаков и отходы косторезного ремесла. Последние — это остатки пуговичного производства XVI—XVII вв. Для таких поделок использовали, как правило, длинные кости крупного рогатого скота. Их разрезали пополам (отсекая эпифизы), а из образовавшихся пластин вырезали круглые за-

* Дэвлет М.А. Пляшущие человечки // Природа. 1976. №9. С.115–123.

готовки разного диаметра. В слое обнаружено несколько десятков использованных пластин с отверстиями и опиленных эпифизов. Видимо, какую-то часть грунта взяли в пределах городской территории, где жили и работали косторезы-пуговичники и кузнецы.

Очень интересно одно наблюдение: в изученных археологами отложениях за Гротом нет обломков цветных изразцов, столь часто и массово встречающихся в слоях XVII—XVIII вв. в центральных районах Москвы, где в то время активно строили каменные здания с керамическими элементами декора стен и с изразцовыми печами.

Грот Александровского сада — необычный памятник садово-парковой архитектуры. В одном издании по истории Москвы отмечен его «романтически-руинный характер». Проект этого памятника разрабатывал известный архитектор О.И.Бове. Строили Грот в 1820–1823 гг. После войны 1812 г. руин в Москве действительно хватало. Пострадали тогда и постройки московского Кремля, в частности здание Арсенала, и поэтому в кладку стен Грота попали детали его архитектурного декора.

К началу 21-го столетия нижние части стен Грота заросли землей, и было удивительно наблюдать при их расчистке, как появляются на свет все новые и новые каменные детали, украшавшие когда-то кремлевские постройки. В 1820-е годы в кладку попало огромное белокаменное ядро! Его диаметр достигал 60 см — такие ядра использовали для метательных машин при осадах средневековых городов в эпоху, когда артиллерии не было или она только зарождалась (XIV–XV вв.). Известняк (из Мячковского месторождения в Подмосковье) шел тогда не только на сооружение первых московских каменных храмов и крепости, но и в военное дело. Кстати, по данным геологического бурения, пласты известняка залегают и в толще

самого Боровицкого холма вдоль Москвы-реки на глубине 13—17 м.

Сегодня реставрационные работы на Гроде в Александровском саду почти завершены. Его белокаменные части и дета-

ли очищены от многолетней копоти и «творчества» современных вандалов, скреплены постававшие от времени кладки из туфа и несущие конструкции памятника. Скоро займут свое место и величественные фигуры

львов, которым тоже досталось от любителей оставлять автографы. А археологам еще предстоит детально изучить находки, сделанные летом 2004 г. — они наверняка пополнят наши знания о прошлом столицы России. ■

Газогидраты в осадках континентальной окраины

204-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»

И.А.Басов,
доктор геолого-минералогических наук
Геологический институт РАН
Москва

Газогидраты, которые представляют собой соединения метана или других низкомолекулярных газов с водными молекулами, остаются стабильными при низких температурах и под относительно высоким давлением. Таким условиям в океане отвечают глубины более 300 м. Поэтому газогидраты широко распространены в виде льдистых агрегатов в океанских и морских осадках, обогащенных органическим веществом, которое при разложении образует метан. В последние годы интерес к этим соединениям значительно вырос по двум основным причинам. Во-первых, стало ясно, что они составляют существенную часть общего баланса углерода, что необходимо учитывать при разработке различных, в том числе климатических, моделей. По некоторым данным, возможное освобождение

© Басов И.А., 2005

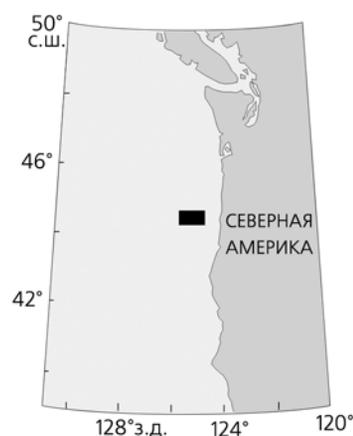
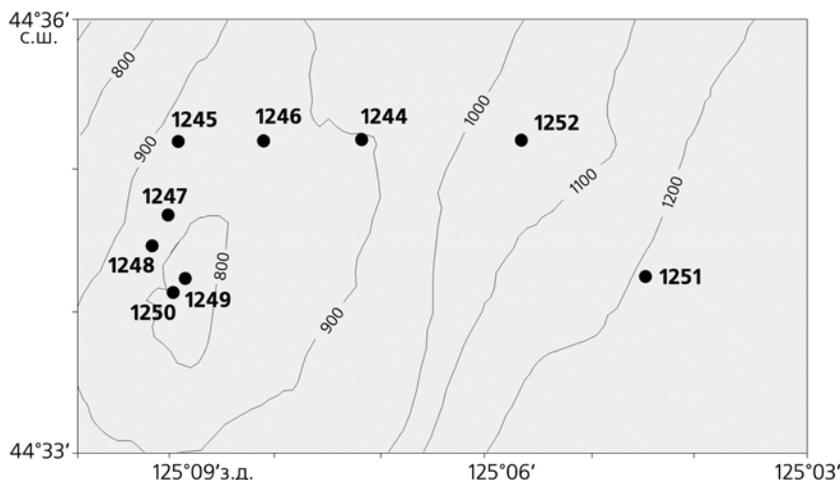
метана в силу каких-то причин в прошлом могло быть причиной значительных климатических изменений. Если это так, то подобные последствия могут иметь место и в будущем, к чему следует быть готовым. Во-вторых, пришло осознание того, что в условиях прогнозируемого энергетического кризиса газогидраты представляют потенциальный источник углеводородов в будущем.

Несмотря на довольно длительную историю изучения газогидратов, их запасы, распределение в осадках и поведение при изменении условий захоронения, в частности давления и температуры, и другие аспекты этой проблемы остаются во многом неизвестными.

Изучению газогидратов был посвящен 204-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн», который состоялся в июле—сентябре 2002 г. в пределах хребта

Хайдрат в районе аккреционной (т.е. образовавшейся в результате соскабливания осадков при пододвигании одной литосферной плиты под другую) призм Каскадия у западных берегов Северной Америки. Рейс проводился под научным руководством А.М.Треху (Колледж наук об океане и атмосфере Университета штата Орегон, США) и Г.Бормана (Центр морских исследований, Германия). Программу океанского бурения в рейсе представляли Ф.Р.Рэк (штаб-квартира корпорации Объединенных океанографических институтов, Вашингтон) и М.Е.Торрес (Колледж наук об океане и атмосфере Университета штата Орегон).

Поскольку при подъеме на борт судна газогидраты разлагаются, что не позволяет получить адекватные оценки их содержания и поведения *in situ*, в про-



Скважины, пробуренные в 204-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн». Справа — положение района исследований (темный прямоугольник).

цессе бурения и опробования скважины применялись специальные технологии. Так, каротаж скважины обеспечивал непрерывный мониторинг ее стенок с целью выявления скопленных газогидратов и свободного метана и их сбора специальными пробоотборниками, сохраняющими в отобранных осадках естественное давление и позволяющими проводить измерения физических свойств на борту судна, не открывая контейнер. При предварительном изучении керна на борту широко использовались камеры с инфракрасным излучением для быстрой идентификации участков с газогидратами, чтобы сохранить эти интервалы керна для дальнейших тщательных геохимических исследований.

В рейсе пробурено 45 скважин в девяти точках (1244–1252) в интервале глубин 785.5–1228.0 м с наибольшим проникновением в осадки на глубину 473.7 (скв. 1245В). В результате получено 3068.3 м керна, всестороннее изучение которого современными физическими и геохимическими мето-

дами позволит глубже проникнуть в проблему формирования и поведения в осадках газогидратов, а также оценить масштабы этого явления в Мировом океане.

Предварительный анализ полученных материалов показал, что газогидраты концентрируются в широком диапазоне глубин между дном и отражающим горизонтом BSR (Bottom Stimulating Reflector) — так называют ложное дно, которое вызвано скачком свойств между газогидратами и нижележащими газонасыщенными осадками.

В районе бурения метан и другие углеводороды мигрируют из аккреционной призмы к вершине хребта Хайдрат вдоль слоя осадков, обогащенных пепловым материалом, который расположен непосредственно ниже отражающего горизонта BSR.

Линзы массивных газогидратов в южной части хребта встречаются в осадках до глубин около 30 м. Ниже этой глубины газогидраты не образуют массовых скоплений, хотя в рассеянном состоянии они

присутствуют в осадках, как и свободный метан. Массивные газогидраты в южной части хребта содержат свободный газ до глубин несколько десятков метров. Концентрация газогидратов контролируется литологическим составом осадков: их максимальные содержания характерны для относительно грубозернистых осадков.

Концентрация свободного газа ниже отражающего горизонта BSR в северной части хребта выше, чем в южной, что связано, вероятно, с особенностями его формирования и миграции. Аккреционный комплекс осадков является проницаемым для газов и содержит пресную воду, что должно учитываться при оценке концентрации газогидратов по аномалиям хлоридов в осадках.

Таким образом, даже предварительное изучение керна показывает, что полученные в 204-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн» материалы вносят существенный вклад в решение проблемы формирования и распределения в осадках Мирового океана газогидратов. ■

Литература

1. Trebu A.M., Bohrmann A.M., Rack F.R., Torres M.E. et al. // PODP. Init. Repts. 2003. Leg.204.

Новости науки

Космология

В поисках темного вещества

В декабре 2003 г. завершилось создание в нагорьях центральной части Намибии (Юго-Западная Африка) астрономической сети HESS (High Energy Stereoscopic System). Эта стереоскопическая система регистрации частиц высоких энергий состоит теперь из четырех телескопов площадью по сто с лишним квадратных метров каждый. Разработал и построил астрономическую сеть HESS коллектив ученых из Института ядерной физики им. Макса Планка в Гейдельберге (Германия).

Основная задача исследователей — изучение космического гамма-излучения и поиск гипотетического темного вещества, предположительно определяющего расширение Вселенной, но пока недоступного наблюдению.

В отличие от аналогичных телескопических систем, которые наблюдают свои цели непосредственно, HESS улавливает следы гамма-излучения и космических лучей, оставляемые при вторжении в земную атмосферу. Благодаря вызванному вторжением каскаду вторичных частиц, образующих довольно яркие следы черенковского свечения, можно будет устанавливать источники светящегося следа. Высокая чувствительность делает систему HESS наиболее эффективной из всех, существующих сегодня, и это порождает у специалистов надежду обнаружить наконец давно искомое темное вещество.

На Международном симпозиуме по астрономии высоких энергий (Гейдельберг, июль 2004 г.) руководителем намибийского экспе-

римента В.Хоффман (W.Hoffman) сообщил, что возглавляемая им группа немецких ученых зарегистрировала поток гамма-излучения, идущего непосредственно из центра Млечного Пути.

Согласно существующей теории, Млечный Путь должен быть окутан гигантским гало темного вещества, масса которого более чем в 10 раз превосходит общую массу всех звезд и планет. Одна из распространенных гипотез гласит, что темное вещество состоит главным образом из слабовзаимодействующих частиц большой массы (WIMP), которые заполняют собой все космическое пространство, но остаются неразличимыми для современных наблюдательных средств. Столкновение двух подобных частиц должно порождать потоки других частиц и гамма-лучей. Подобные события должны чаще всего происходить в ядре Млечного Пути, где WIMP, вероятно, образуют плотное скопление вокруг находящейся там сверхмассивной черной дыры.

Постоянный поток гамма-излучения, фиксируемый системой HESS, действительно идет из очень небольшой области галактического центра. Но глава исследовательской группы сомневается в существовании связи данного явления с темным веществом. Дело в том, что характер приходящего оттуда излучения указывает на классическую ударную волну, вызванную обычным столкновением атомных ядер с окружающей космической средой. Их наиболее вероятным источником служит остаток сверхновой, находящейся вблизи галактического центра, где мощные магнитные поля тысячелетиями захватывают частицы и придают им ускорение. Более того, гамма-лучи обладают

весьма высокой энергией, а значит, их источником вряд ли могут быть слабовзаимодействующие частицы. Частицы, испускающие это гамма-излучение, должны иметь энергию по меньшей мере 12 трлн электронвольт (!), что в 10–100 раз больше, чем предписывается почти любой моделью суперсимметрии.

Однако некоторые участники симпозиума, и в их числе видные астрофизики, считают, что возможность обнаружения темного вещества в данном эксперименте все еще не исключена. К настоящему времени завершён анализ данных, охватывающих лишь первую половину 2003 г., когда в системе работали только два из четырех телескопов. Теперь, когда в дело включены все четыре, система в состоянии регистрировать различные типы гамма-излучений, поступающих, предположительно, от остатка сверхновой и от близлежащего ядра галактики. Работая в полную силу, система HESS, вероятно, сможет отличать один источник от другого.

Science. 2004. V.305. №5685. P.763 (США).

Астрофизика

Рентгеновское излучение протозвезды

Маломассивные протозвезды по характеру распределения энергии в спектре делятся на несколько классов. Это разделение имеет наблюдательную природу, но, как предполагается, отражает эволюционный статус протозвезд. Самым ранним этапам образования протозвездного сгустка, когда собственно звезда в нем еще отсутствует, соответствуют классы 0 и I. Объекты класса 0 — молодые протозвезды (возраст

порядка 10^4 лет) — находятся на главной фазе аккреции. Объекты класса I значительно старше (порядка 10^5 лет), в них аккреция происходит уже не сферически-симметрично, а главным образом через аккреционный диск.

Формирование диска и дисковая аккреция сопровождаются выделением значительной энергии, что связано отчасти с изменением структуры магнитного поля в сгустках. Неудивительно, что протозвездные объекты класса I — это источники рентгеновского излучения. Время от времени на них происходят явления, похожие на солнечные вспышки и обусловленные перезамыканием магнитных силовых линий, связывающих протозвездное ядро с окружающим диском. Поскольку в объектах класса 0 дисков еще нет, в них этот механизм работать не должен, что и согласовывалось с наблюдаемым отсутствием рентгеновского излучения у подобных объектов.

До сих пор считалось, что рентгеновская активность протозвезд класса I и отсутствие такой активности у протозвезд класса 0 отражают реальное различие в энергетике этих объектов. К.Хамагучи (K.Namaguchi; Центр космических полетов им.Годдарда НАСА США) и его коллегам впервые удалось доказать, что на самом деле различие может быть связано лишь с недостаточной чувствительностью рентгеновских телескопов¹. С помощью космических инструментов «ХММ-Newton» (ЕКА) и «Чандра» (НАСА) они убедительно показали, что иногда рентгеновское излучение способно рождаться и в протозвездных облаках класса 0, температура которых не превышает 30 К.

Для исследования были взяты два протозвездных объекта в области звездообразования созвездия R Южной Короны. Один из них представляет собой протозвезду класса I; о его рентгеновской активности известно уже давно. Другой объект в типичном для протозвезд инфракрасном диапа-

зоне никак себя не проявляет, зато скрывает источник более длинноволнового субмиллиметрового излучения, характерного для дозвездных сгустков класса 0. И вот этот холодный сгусток оказался источником мощного рентгеновского излучения, к тому же с сильной переменностью — на протяжении месяца его рентгеновская светимость изменяется на один-два порядка.

У протозвездных объектов на более поздних стадиях эволюции такие скачки наблюдались уже неоднократно. Авторы работы не исключают, что и в данном случае они тоже связаны с неоднородным магнитным полем объекта, которое существенно усложняет картину течения вещества в его окрестностях. Скачкообразные изменения темпа аккреции могут приводить к временному сильному перегреву поверхности протозвездного ядра.

Свидетельство в пользу существования сильного магнитного поля сложной структуры у столь молодой протозвезды очень важно для понимания процесса звездообразования. Магнитное давление играет важную роль в сдерживании коллапса облака, однако с магнитным полем взаимодействуют только электрически заряженные частицы. Ионизирующее рентгеновское излучение может играть важную роль в организации обратной связи — усиление аккреции (в рамках предположения авторов) приводит к появлению в протозвезде рентгеновских квантов, которые ионизируют вещество, способствуя более эффективному взаимодействию между газом и магнитным полем.

© **Вибс Д.З.**,
доктор физико-математических наук
Москва

Планетология

Когда на Марсе еще шли дожди

В последние годы специалисты пришли к общему согласию в том, что некогда на Марсе существова-

ла вода. В первый миллиард лет со дня образования Красной планеты влага заполняла ее ущелья, а мощные потоки (и ныне заметные долины) прорезали многочисленные «оспины» кратеров.

В истории этой планеты космогеологи выделяют три основных периода. Первый из них — ноев (более 3.6 млрд лет назад); Марс тогда подвергался мощной бомбардировке небесными телами, а климат был относительно теплым. Затем — гесперийский период (3.6—2.9 млрд лет назад), который характеризуется холодным климатом и существованием мощного слоя мерзлоты. Нынешняя стадия марсианской истории именуется амазонской.

Гесперийский период избыточной увлажненности Марса завершился примерно тогда же, когда на Земле стала появляться примитивная жизнь. Предполагалось, что по окончании гесперийского периода вода на поверхности Марса встречалась только в замороженном состоянии. Но теперь появились свидетельства, что и позже на Марсе могли выпадать обильные осадки. Эту пока еще непривычную гипотезу предлагают французские ученые из Южного парижского университета в Орсе и Лаборатории наук о Земле в Лионе, возглавляемые Н.Мангольдом (N.Mangold).

Тщательно проанализировав снимки марсианской области Валлес Маринерис (Долина Маринера), сделанные с высоким разрешением приборами THEMIS (Thermal Emission Imaging System) с космического аппарата «Mars Odyssey» в октябре 2001 г., они обнаружили там густую сеть ныне сухих речных русел и долин, явно относящихся ко времени, когда влажный гесперийский период длительностью полмиллиарда лет должен был, согласно принятым до сих пор представлениям, завершиться, а планета полностью одеться льдом. Эти как бы выпадающие в гигантскую систему каньонов Валлес Маринерис сухие русла лежат столь же близко друг к другу, как и в типичных на Земле водосборных районах (это и отличает

¹ <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0503029>

их от ранее известных марсианских долин, отстоящих на порядочное расстояние друг от друга).

Некоторые русла исходят непосредственно из предгорий и хребтов, что опровергает их родниковое происхождение — в такой местности не мог бы скапливаться большой объем подземной влаги. Исследователи настаивают на том, что дожди, хотя бы эпизодически, продолжали выпадать на Красной планете даже в самом конце гесперийского периода, несмотря на предполагаемое рядом специалистов длительное и резкое похолодание. Возраст поверхности Марса, изборозженной речными руслами, обычно датируется путем подсчета количества ударных кратеров, выбитых падением метеоритов уже после того, как эти русла возникли. Это и позволило отнести их к позднему гесперийскому времени. Северная оконечность одной из областей водосбора позже подверглась воздействию потока свежей лавы; в соответствии с числом кратеров данное событие датируется уже началом следующей эпохи — амазонской. О том же свидетельствует и стратиграфия этого района.

Геологи в основном согласны с гипотезой длительного присутствия воды на Марсе, но некоторые сомневаются в отношении датировки. Не очень убедительной считает ее немецкий планетолог Г.Нойкум (G.Neukum; Свободный университет в Берлине), указывающий на малую достоверность приблизительного подсчета марсианских кратеров американскими геологами во главе с К.Танакой (K.Tanaka), проведенного еще в 1992 г., и поэтому отнесение метеорологических событий на Марсе к поздней гесперийской эпохе может быть ошибочным. Дж.Хед (J.Head; Браунский университет в Провиденсе) считает, что воды, оставившие сухие русла, были талыми, а не дождевыми, и текли под ледниками, так как климат был уже почти таким, как сегодня. Это произошло вследствие изменения наклона оси вращения Марса, которая стала близка к ее нынешнему положению.

Окончательной оценки гипотезы французских ученых можно ожидать после анализа данных, поступивших с космического аппарата «Mars Express», снабженного новейшей стереокамерой.

Science. 2004. V.305. №5680. P.26, 78 (США).

Геофизика

Программа «Двойная звезда»

В июле 2004 г. с китайского космодрома Тайюань, что к западу от Пекина, ракетой «Long March 2С» («Великий поход») был запущен искусственный спутник «Tan Ce-2» («Исследователь-2»). Это существенный шаг в сотрудничестве европейских и китайских ученых в ходе реализации общей программы «Двойная звезда». Предшественником данного эксперимента был запуск ИСЗ «Tan Ce-1» с космодрома Цзисянь, состоявшийся 29 декабря 2003 г.; этот спутник уже предоставил ученым немало данных о физических процессах, происходящих в околоземном пространстве.

Научная программа «Двойная звезда» предусматривает одновременную работу в космосе шести спутников, оснащенных главным образом приборами для изучения геомагнитного поля Земли и ее окрестностей. Наряду с европейской программой «Cluster» («Скопление»)¹ это новое начинание предназначено для всестороннего изучения взаимодействия между солнечным ветром и геомагнитными процессами. Предстоит рассмотреть принципы взрывного возникновения магнитосферных суббурь — явления, обнаруженного лишь 30 лет назад, а также сопоставить новые данные с результатами наблюдений на аппаратах серии «Cluster», которые большую часть времени проводят на ночной стороне Земли, в районе ее магнитного «хвоста».

Орбита спутников, запущенных по программе «Двойная звез-

¹ Подробнее см.: Зеленый Л.М., Григоренко Е.Е. Миссия «Cluster», восставшая из огня подобно Фениксу // Природа. 2005. №5. С.46—53.

да», позволяет им периодически присоединяться к европейским аналогам. Находясь на более близкой к нашей планете орбите, они тем самым замыкают цепочку из шести ИСЗ, обследующих области различного от нее удаления. Это создает отличные условия для наблюдения процесса зарождения и начальных стадий суббури, когда огромная энергия внезапно высвобождается из магнитного поля Земли и магнитные силовые линии пересоединяются в новом порядке.

Ученые надеются решить проблемы, связанные с воздействием магнитных бурь на организм человека и созданные им энергосистемы.

Spaceflight. 2004. V.46. №9. P.342 (Великобритания).

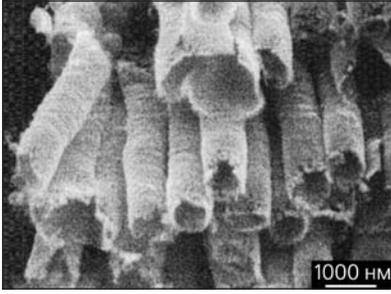
Химия

Нанотрубки-манганиты

Аргентинские исследователи, возглавляемые П.Леви², синтезировали нанотрубки на основе манганитов $La_{0,325}Pr_{0,300}Ca_{0,375}MnO_3$. Для этого мембраны, полученные травлением пленок из майлара (многослойного синтетического материала, который используется для изготовления парусов) или поликарбоната, предварительно облученных тяжелыми ионами, заполняли раствором солей соответствующих металлов. В результате последующей термообработки сформировались полые цилиндры диаметром около 800 нм, длиной примерно 4 мкм, с толщиной стенок приблизительно 100 нм. Размеры установлены методом сканирующей электронной микроскопии; более подробные исследования с помощью просвечивающего электронного микроскопа показали, что «кирпичиками» в стенках цилиндров служат монокристаллы манганита размерами около 20 нм.

Интерес к манганитам во многом обусловлен их огромным магнитным сопротивлением. Магнитные характеристики нанотрубок манганита, по оценкам их созда-

² Levy P. // Appl. Phys. Lett. 2003. V.83. P.5247.



Нанотрубки на основе манганитов.

телей, в целом соответствуют характеристикам массивного образца (магниторезистивные свойства в них проявляются при температурах ниже 200 К), а необычная геометрия открывает новые возможности. В системе нанотрубок можно «настроить» тонкое равновесие между различными фазами, что позволит, например, создавать системы из сосуществующих ферромагнитной (металлической) и антиферромагнитной (непроводящей) фаз¹.

Исследователи полагают, что нанотрубки этого типа можно использовать в качестве сильно локализованных источников электронов с определенной ориентацией спинов. Такие эмиттеры перспективны для создания спинчувствительной зондовой микроскопии и для конструирования нанoeлектронных схем (таких как квантовые компьютеры, постоянная магнитная память), принцип действия которых основан на прецизионном манипулировании спинами электронов.

Другое перспективное применение — в высокотемпературных твердоэлектродных топливных элементах. Материал катода в этих элементах должен быть устойчивым в окислительной среде при высоких температурах. Нанотрубки на основе манганитов удовлетворяют этому требованию, обладают и ионной, и электронной проводимостью, а нанотрубчатая структура позволяет эффективно распределять газы. Области применения таких нанотрубок можно расширить, изменяя их хи-

¹ Hueso L, Matbur N. // Nature. 2004. V.427. №6972. P.301—304.

мический состав, размеры и пространственное распределение.

http://perst.isssp.kiae.ru/inform/perst/4_23/index.htm

Эволюционная биология

Разнообразие рыб как память об исчезнувшем озере

Одно из сенсационных открытий эволюционной биологии конца XX в. состоит в том, что огромное разнообразие видов может возникнуть от немногих общих предков за очень непродолжительный период — какие-нибудь десятки тысяч лет. Если бы речь шла о быстро размножающихся бактериях, было бы неудивительно: у них за это время сменилось бы огромное число поколений. А здесь рыбы, сложно организованные и не столь быстро размножающиеся. Но факт остается фактом: в африканском оз.Виктория обитает около 500 эндемичных видов рыб (из семейства цихлидовых) с различающимися экологическими нишами. Есть, к примеру, питающиеся планктоном; есть настоящие хищники, нападающие на других рыб; а есть специализирующиеся на питании моллюсками и даже икрой других видов.

Судя по молекулярно-генетическим данным, эти виды цихлид — близкие родственники, а образование всего веера наблюдаемых форм произошло совсем недавно, поскольку 15 тыс. лет назад оз.Виктория, по свидетельствам геологов, полностью высохло. (Правда, в последнее время появились сведения о том, что начало дивергенции видов уходит в более далекое прошлое — до 200 тыс. лет назад.) Дело в том, что некоторые виды могли пережить засуху в сохранявшихся небольших водоемах, а при новом обводнении, оказавшись вместе в одном большом озере, образовать гибриды. Такая генетическая гетерогенность небольшого исходного набора видов, видимо, способствовала видообразованию в том или ином направлении.

Нужно упомянуть, что для этой группы рыб характерны две осо-

бенности: специфическое устройство челюстного аппарата, которое обеспечивает довольно быстрые (в эволюционном масштабе) перестройки в зависимости от характера добычи, и тонкая дифференциация видов по окраске самцов, особенно в брачный период, что важно для полового отбора.

Исследователи также обратили внимание на то, что в озерах Виктория и Малави (Ньяса) число видов цихлид необычайно велико, а в реках озерных бассейнов очень мало. Отсюда был сделан вывод: возникновение разнообразия связано именно с озерами, но не с реками. Однако, как недавно выяснилось, данное положение не может быть распространено на другие районы Африканского континента. Д.Джойс из Университета Халла (Великобритания) совместно с коллегами из Швейцарии, Южной Африки и Австрии обнаружили², что в верховьях Конго, в верхнем и среднем течении Замбези, в реках Окованго, Кунене и Лимпопо (все они текут южнее и западнее Восточно-Африканского рифта) обитают целые группы близкородственных видов цихлид. Проведя анализ их митохондриальной ДНК, исследователи обнаружили множество близких гаплотипов (нерекombинирующих участков) мтДНК, которые произошли, видимо, от небольшого числа родительских линий. По результатам анализа была построена кладограмма родственных связей в пределах всей группы. Ее общая структура оказалась очень похожей на ту, что ранее была выявлена для цихлид крупных озер Восточной Африки (кстати, данные по ним также были включены в анализ).

Вся совокупность полученных данных позволила авторам выдвинуть гипотезу происхождения близкородственных видов речных цихлид от предков, обитавших в огромном (занимающем не менее 60 тыс. км²) оз.Макадикгади, которое существовало около 52 тыс. лет назад на севере нынешней Ботсваны. Резкие изменения

² Joyce DA, Lumt DH, Bills R. et al. // Nature. 2005. V.435. P.90—95.

климата, характерные для эпохи плейстоцена, приводили к сильным колебаниям уровня озера: при максимуме глубина была не меньше 50 м, а площадь расширялась до 120 тыс. км². Но в голоцене оно постепенно исчезло, а 2 тыс. лет назад представляло собой временно возникающую лагуну в дельте Окованго. Однако память об этом озере сохранилась в высоком видовом разнообразии рыб, населяющих теперь реки, когда-то с ним связанные.

© **Гиляров А.М.**,
доктор биологических наук
Москва

Зоология

Для конюг-крошек 100 км за едой — не крюк

Океанические фронтальные зоны и фронты (лентовидные районы резких горизонтальных гидрологических градиентов, возникающие в местах встречи разного рода течений в открытом океане или над шельфами) хорошо известны высокой продуктивностью вод. Это в полной мере относится и к фронтам, расположенным в шельфовой зоне Берингова моря, подробному анализу которых была посвящена докторская диссертация М.В.Флинта (Институт океанологии РАН).

В данном сообщении освещается только один, возможно, не самый значительный, но крайне любопытный аспект исследований.

К числу важнейших гидрологических особенностей восточной части Берингова моря относится устойчивость склонового фронта, разделяющего область шельфа и глубокие воды. Поперечная ширина фронта составляет около 20 км. Существенно, что в этих водах наблюдается хорошо выраженный максимум биомассы зоопланктона: здесь она в 3—10 раз выше, чем в прилегающих водах шельфа и в глубокой части моря. Основу (80—95%) этого максимума составляют крупные веслоногие рачки нескольких видов, характерных для морской толщи и лишь в очень небольшом количестве

проникающих в шельфовую зону. Например, биомасса 5—8-миллиметровых рачков *Neocalanus cristatus* в водах фронта — около 600 мг сырого веса в кубометре воды, а в шельфовых водах не превышает 50 мг/м³ и заметно уступает биомассе других планктонных животных.

А в 110 км от склонового фронта, посреди шельфа, лежат Прибыловы о-ва, на одном из которых, о.Сент-Поль, расположена крупная гнездовая колония конюги-крошки (*Aethia pusilla*). Конюга-крошка принадлежит к чистиковым птицам (к которым относятся также кайры, гагарки или тупики), но эта — самая мелкая из них — всего около 10 см. Это один из самых массовых видов планктоноядных птиц региона. Пищевые пристрастия конюг удалось проанализировать (отбирая часть приносимой ими на берег добычи) в период выкармливания птенцов, когда птицы постоянно летают в море за планктоном и потребности популяции особенно велики. Оказалось, что практически всегда основу их питания составляли те самые крупные рачки копеподы (*Neocalanus cristatus*), доля которых в рационе конюг превышала по весу 85%. И при этом в приповерхностных водах шельфа отмечались лишь единичные рачки этого вида! Очевидно, что доступ к крупным скоплениям неокалянусов конюги могли получить только в водах склонового фронта, в 110 км от их колонии.

Собственно, вся эта история приводится автором для доказательства, что зоны шельфовых фронтов крайне важны как кормовые области, используемые организмами высших трофических уровней. Преимущества пищевых условий, которые формируются для планктоноядных организмов в зоне склонового фронта, столь велики по сравнению с ближе расположенными более бедными водами, что оправдывают для конюг весом около 70 г их энергетические затраты на 100—110-километровые перелеты дважды в сутки. Но и сами по себе регулярные сто-

километровые полеты небольших птиц за едой — весьма примечательный факт.

Флинт М.В.: Автореферат дисс. д.б.н. «Роль шельфовых фронтов в формировании биологической продуктивности (на примере Берингова моря)». 2005

Зоология

Обоняние у трубконосых птиц

В отличие от млекопитающих только очень немногие виды пернатых способны воспринимать запахи. Так, вальдшнеп использует обоняние (правда, очень плохое) для поиска в почве червей. Многие трубконосые (*Procellariiformes*), к которым относятся альбатросы, буревестники, качурки и др., пищу (например, скопление криля) добывают в открытом океане, а так как корм распределен неравномерно и с воздуха скопление далеко не просмотришь, обоняние тут может сослужить хорошую службу. Возможно, поэтому у трубконосых хорошо развиты крупные обонятельные доли мозга и многие виды чутьем не сильно отстают от млекопитающих.

Изучением обоняния трубконосых в естественных условиях многие годы занимался биолог Г.Невитт (G.Nevitt; Калифорнийский университет) и его коллеги. Исследования велись близ побережья Антарктиды, где встречаются 18 видов трубконосых. Ученые решили проверить, есть ли у них межвидовые различия в использовании обоняния. Для этого на поверхности океана были нанесены через определенные промежутки пятна из смеси растительного масла и 3-метилпиразина — вещества, имитирующего запах криля. Масло необходимо, чтобы длительное время вещество удерживалось на поверхности в виде единого пятна. Для контроля использовалось чистое масло.

Наблюдения проводились с корабля: вылив масло в океан, ученые отмечали всех появляющихся поблизости птиц. Сравнив результаты учетов с общей численностью птиц, исследователи выяснили, что наиболее привлекатель-

ным запахом криля был для крупных птиц — гигантских буревестников (род *Macronectes*), капских голубков (*Daption*) и альбатросов (*Diomedea*), тогда как мелкие, например качурки (*Oceanites*) и прионы (*Pachyptila*), появлялись во время экспериментов лишь случайно.

Крупные виды отряда трубконосых нередко питаются падалью, которую находят по запаху. Естественно, к столь легкой добыче они не подпускают более мелких сородичей, которые вынуждены довольствоваться различными планктонными ракообразными, которых собирают, процеживая воду сквозь клюв.

Journal of Experimental Biology. 2004. V.207. №20. P.3537–3544 (Великобритания).

Ихтиология

В очереди на размножение

В некоторых сообществах животных группа может состоять из взрослых особей, как участвующих, так и не участвующих в продолжении рода. Впрочем, статус первых из них может быть достигнут вторыми либо спариванием украдкой, либо насильственным свержением доминирующей особи (или в случае ее смерти), либо перебежанием в другую группу, где имеется «вакансия».

Британский ихтиолог Бастон (Buston) впервые зарегистрировал существование терпеливой очереди претендентов на функцию продолжения рода у рыб-клоуна *Amphiprion percula*. Эта рыба умеет решать такую проблему бесконфликтно. Обычно она населяет пустое пространство между щупальцами морских анемонов (полипы рода *Actinaria*), образуя стайки численностью до шести особей, из которых лишь две участвуют в размножении.

Временами в группу включается молодая личинка, и когда из нее образуется малек, он терпеливо и долго проходит одну ступень иерархии за другой, пока не приобретет статус продолжателя рода. Никаких нарушений иерархии не

допускается. Даже при временном рассеянии стайки никто из ее членов прорваться без очереди не пытается, движение вверх по иерархической лестнице возможно лишь с естественной убылью «стоящего впереди», без перепрыгивания через статусный номер.

Исследователь полагает, что такое терпеливое поведение может максимально увеличивать для особи вероятность получения в свое распоряжение участка, где происходит спаривание. Другими словами, низкий статус принимается особью из-за того, что он при должном терпении обеспечивает потенциальную возможность реализовать себя в будущем.

Proceedings of the Royal Society of London. Series B. 2004. V.10. P.1098 (Великобритания).

Этология

Как воют шимпанзе

Приматологам известно множество случаев, когда живущие на воле шимпанзе внезапно проявляют агрессивное поведение против себе подобных, принадлежащих к иной стае: целый отряд таких яростно настроенных обезьян направляется к границе своей обычной территории, пересекает ее, стараясь изловить врага, а нередко и убивая его. Что вызывает подобные атаки и почему самцы, в обычное время неустанно соперничающие между собой, в таких случаях внезапно проникаются дружелюбием, оставалось неясным.

Эта проблема рассматривалась на 73-й ежегодной конференции Американской ассоциации физической антропологии (апрель 2004 г., Тамп, штат Флорида) приматологами Дж.Митани и Д.Уотсом (J.Mitani, D.Watts).

В течение девяти лет группа ученых неотрывно следила за стаяй шимпанзе, населяющей лес Нгого в национальном парке «Кибале» (Уганда). Стая из 150 особей, как правило, не покидала пределы родного леса, но временами, когда на одном небольшом его участке собиралась многочисленная группа

самцов, характер поведения резко менялся. Животные, которые ранее соперничали (нередко с применением силы), неожиданно начинали проявлять всяческое «дружелюбие», почесывая друг друга, выискивая насекомых в шерсти. Подобные «приступы миролюбия» иногда случались до девяти раз за месяц, а порой вообще не отмечались длительное время. Но всякий раз, чтобы изменилось поведение стаи, должно было собраться в одном лесном углу не менее 18 особей сильного пола. Известно, что «кооперативное» поведение среди самцов большинства животных — явление довольно редкое.

В соответствии с предыдущими наблюдениями некоторые специалисты считали, что такие вылазки происходят преимущественно в ответ на вторжение соседей, пытающихся уволочь самок, убить детенышей или занять чужую территорию. Но последнее исследование показало, что названные факторы существенного влияния на поведение обезьян не оказывают. Отмечено, что самцы данного вида делятся мясной добычей друг с другом чаще, чем с самками, что подчеркивает возможность их «боевого содружества» и координированного поведения. Похоже, что только «подсчитав» свою численность и найдя ее достаточной, самцы начинают строиться в тесную шеренгу и становятся необычно тихими. Нередко наблюдалось, как, встретив «на марше» стайку колобусов (*Colobus badius* — малая обезьяна красный толстотел), часто служащих для шимпанзе пищей, они с безразличием проходили мимо. Иногда в пути стая делала краткие остановки для того, чтобы «по-быстрому» обиходить друг друга и снова возбудиться.

Достигнув «вражеской» территории, шимпанзе яростно нападают на первую встреченную особь своего же вида, особенно если это одиночка. Возникает «куча мала», в которой невозможно что-либо разглядеть. В пяти случаях жертва оказывалась мертвой, а нападавшие не несли никаких потерь и в большинстве спокойно удалялись

восвояси. Но отмечен случай, когда 18 самцов, услышав приближение противника, молча и поспешно бросались в бегство.

Некоторые ученые видят во всем этом некий аналог особенностей человеческой толпы, в которой люди ведут себя совсем иначе, чем это характерно для отдельных индивидуумов.

Science. 2004. V.304. №5672. P.818818 (США).

Экология

Пластмассы загрязняют океан

Значительная часть пластмасс, которые производятся ежегодно миллионами тонн, попадает в реки, моря и океаны. Большая их часть не разлагается биологически, но постепенно разрушается механически.

Британские ученые, возглавляемые Р.Томпсоном (R.Thompson; Плимутский университет), совместно с научными сотрудниками Фонда океанических наук в Плимуте и Саутгемптонского университета исследовали микроскопические фрагменты и волокна пластмасс, которые скапливаются в осадочных толщах побережий, речных устьев и приливных зон в районе Плимута. Анализ показал, что разные полимеры присутствуют в 23 из 30 образцов, причем в приливных осадках они встречаются намного чаще.

Затем исследователи обратились к акваториям, лежащим между г.Абердин (северо-восточное побережье Великобритании) и Шетландскими о-вами, а также между о.Сулискер (Гебридские о-ва) и берегами Исландии. Изучение образцов планктона, собираемых с 1960-х годов, показало, что за последние 35 лет содержание частиц пластмасс в планктонной массе неуклонно возрастало.

Известно, что многие обитатели моря и побережий (птицы, рыбы и млекопитающие), проглатывая сравнительно крупные пластмассовые предметы, могут задохнуться или повредить пищеварительный тракт. В лабораториях и

аквариумах Плимутского университета ведутся эксперименты, цель которых — выяснить, какие последствия грозят усоногим ракам, пескожилам и другим мелким животным при проглатывании микроскопических частиц пластиков.

Science. 2004. V.304. №5672. P.838 (США).

Океанология

Япония и Китай изучают дно океана

В соответствии с международной программой «InterMargins», нацеленной на изучение геологии, геодинамики и геофизики морских окраинных районов, японские исследователи в 2004 г. использовали свой глубоководный аппарат «Shinkai-6500» для погружений в тихоокеанском желобе Нанкай, в районе островной дуги Бонин-Идзу (Огасавара) на западе Тихого океана, и в бассейне Лау (о-ва Фиджи). Собраны данные о флюидах, содержащихся в глубинных породах дна, о химическом составе, структуре и топографии эскарпа, имеющегося в желобе, взяты образцы организмов, населяющих придонные воды.

В 2003 г. в районе горного массива Дайсецудзан (о.Хоккайдо) и около вулкана Токати произошло мощное землетрясение (магнитуда 8 по шкале Рихтера). Акустическая съемка морского дна с использованием сонара, проведенная японскими сейсмологами у берегов Хоккайдо, позволяет судить о характере движения земной коры в области эпицентра, о степени нестабильности склонов и вероятности нового смещения крупных масс породы на дне. Зафиксированы турбулентные потоки, которые могли быть вызваны землетрясением.

Ныне запланированы измерения теплового потока в желобе Нанкай, а также структурный анализ грязевых вулканов, расположенных в передовой части островной дуги этого бассейна. Уже ведется сейсмическая съемка подводного плато Онтонг-Джава у берегов Явы.

В рамках той же международной программы океанологи КНР осуществляют национальный проект «Основные проблемы эволюции окраинных морей Китая и образования полезных ископаемых», который был рассчитан на 2000—2005 гг. Главное внимание уделено прилегающим к континенту бассейнам Восточно-Китайского и Южно-Китайского морей, их геологической истории, эволюции рифтов и последующего растяжения дна. В рейсах научно-исследовательских судов были построены сейсмические многоканальные профили, велась гравиметрическая и магнитная съемка, брались образцы донных пород. Для изучения глубинной структуры в районе рифтов на дне омывающих Китай бассейнов использовались методы спутниковой альтиметрии, которые совмещались с измерениями многолучевых батиметрических приборов и с другими геофизическими методами.

В процессе поиска и картирования залежей газогидратов в Южно-Китайском и Восточно-Китайском морях обнаружено существование на дне слоя с ложным отражением акустической волны.

InterMargins Newsletter. 2004. №4. P.1—2 (Великобритания); www.intermargins.org

Охрана природы

Леса Бразилии под угрозой

В 80-х годах XX в. правительство Бразилии приняло решение вывести страну в число наиболее развитых государств мира. Начальный этап такого предприятия предусматривает освоение гигантских, почти не заселенных внутренних областей страны путем создания там сельскохозяйственных и лесопромышленных предприятий с современным уровнем производства. Это потребовало проведения дорог, осушения заболоченных территорий, создания системы электроснабжения и развития общей инфраструктуры. Тогда и началась вырубка тропических лесов, быстро достигшая столь значи-

тельного размаха, что вынудила ряд научных и природоохранных учреждений не только в Бразилии, но и в других странах — Смитсоновский институт тропических исследований в Бальбоа (Панама), Всемирный фонд охраны дикой природы и др. — обратить серьезное внимание бразильских властей на глобальные экологические последствия от такой беспрецедентной по масштабам кампании. Были названы особенно опасные для природы, уже осуществляемые или запланированные, проекты проведения шоссейных дорог, автострад, высоковольтных линий электропередачи, газопроводов, водохранилищ ГЭС, железных дорог, спрямления рек и т.п.

Между 1994 и 1996 г. территория ежегодно оголялась почти на 3 млн га; объемы вырубок сократились в 1997-м до 2.4 млн га, в 1998 г. — до 1.4 млн га, но затем вновь стали постепенно увеличиваться и в 2002—2003 гг. приблизилась к 2.3—2.4 млн га/год. Это означает, что каждую минуту лишается древесного покрова территория, равная 11 футбольным полям! Процессу способствовало резкое повышение цен на землю, расположенную рядом с новыми шоссе или пригодную для разведения скота. Сплошному сведению лесов и кустарников подверглись участки, годные для выращивания сои. Участились случаи выжигания растительности для развития подсечно-огневого земледелия со стороны мелких (обычно — нелегальных) фермеров-переселенцев.

В специальных документах, составленных коллективами Смитсоновского института тропических исследований, бразильского Национального института амазонского рыбного хозяйства в Манусе, Федерального университета в Уберландии, Паранского музея в Белене и других научных учреждений, были изложены последствия таких процессов. Эти документы, а также протест широкой международной общественности и природоохранительных организаций заставил бразильское прави-

тельство объявить о мерах, нацеленных на то, чтобы замедлить сведение лесов Амазонии. Начато обследование состояния этой территории с помощью ИСЗ. Виновики незаконной вырубки подвергаются юридическому преследованию; в штатах Амазонас, Акри и др. создаются запретные для хозяйственного использования зоны и участки.

Однако многие видные экологи считают это недостаточным: подобные меры не затрагивают важнейшие источники опасности — автостреды и иную инфраструктуру, которые требуют открытых пространств и расширяют доступ в ранее почти безлюдную местность; перечисляются особенно «антиприродные» 18 плотин при строящихся ГЭС и шоссейные дороги общей протяженностью около 10 тыс. км.

Science. 2004. V.304. №56747. P.1109 (США).

Палеоклиматология

Палеоклимат Новой Зеландии

Австралийские ученые Р.М.Картер и П.Гэммон (R.M.Carter, P.Gammon; Аделаидский университет) считают, что для изучения палеоклимата недостаточно исследовать колонки льда лишь в крайних точках Земли — Антарктиде и Гренландии: необходима информация, относящаяся и к средним широтам.

Изучив данные, полученные в ходе выполнения Программы океанского бурения к востоку от Южного острова Новой Зеландии, и сравнив их с результатами анализа колонок антарктического и гренландского льдов, исследователи пришли к следующим выводам: между климатом Новой Зеландии и Антарктиды весьма длительное время существовала тесная связь, действовавшая даже в масштабах менее тысячелетия; одинаковые атмосферные явления охватывали очень широкий интервал широт Южного полушария. В отличие от ряда специалистов, Картер и Гэммон считают,

что климат Новой Зеландии обуславливался прежде всего не циркуляцией океанских вод, начинающейся в Северном полушарии, а климатом Антарктиды.

Science. 2004. V.304. №5677. P.1659 (США).

Палеонтология

Археоптерикс летал как курица?

С тех пор как в 1861 г. в Германии были впервые обнаружены остатки археоптерикса (*Archaeopteryx*), изображения которого сегодня можно видеть в любом учебнике, он стал классическим примером «переходного» звена от одного отряда к другому. Отлично сохранившиеся отпечатки перьев уверенно говорили, что перед нами птица, жившая на Земле 147 млн лет назад. Вместе с тем почти весь скелет этого существа — от зубов до длинного костистого хвоста — был таким, словно он принадлежал некоему хищному динозавру. Именно эта двойственность и принесла археоптериксу «славу» переходного звена.

Однако летающее животное должно обладать совсем иным мозгом, чем у бегающих по земле. Прояснением этой проблемы занялись А.Милнер (A.Milner; Лондонский музей естественной истории) и Т.Роу (T.Rowe; Университет штата Техас в Остине, США) в сотрудничестве с другими коллегами.

Ученые обследовали внутреннюю поверхность черепа (его длина не превышает 20 мм) с помощью компьютерной томографии, разрешающая способность которой намного выше применяемой в медицине. Полученные изображения компьютер собрал воедино, создав объемную модель крошечного мозга. Анализ показал: мозг у археоптерикса был весьма схож с мозгом современной птицы. Для «начинающего летуна» он даже великоват — сегодняшние птицы с учетом их размеров обладают мозгом на 33% и даже на 50% большим, чем у этого

древнего предка, который еще не был полностью приспособлен для полета. Среди характерных птичьих черт у археоптерикса надо назвать крупные полушария, большие зрительные доли и довольно крупный мозжечок. Кроме того, у него была восстановлена структура полукружных каналов внутреннего уха, обеспечивавших пространственную ориентацию.

Милнер считает, что археоптерикс по своим возможностям летать напоминал скорее курицу, чем ласточку или сокола. Мозг этого древнего существа все же был уже достаточно совершенным. Science. 2004. V.305. №5685. P.764 (США).

Палеонтология

Динозавры Антарктики

Палеонтологи открыли в Антарктике два новых вида динозавров. Одна группа исследователей обнаружила на о.Росса ископаемые остатки хищного динозавра, родственного тираннозаврам и велоцирапторам. Рептилия обитала здесь в конце мелового периода (примерно 70 млн лет назад).

На значительном расстоянии от о.Росса, вблизи ледника Бирдмора, другая группа палеонтологов на высоте 3900 м над ур.м. нашла тазовые кости примитивного завропода — четвероногого динозавра-вегетарианца, жившего около 200 млн лет назад. Новый динозавр был одним из первых среди завропод, к которым относятся такие известные гиганты, как брахиозавры и диплодоки.

Terre Sauvage. 2004. №194. P.50 (Франция).

Археология

Новости из Стоунхенджа

В середине 2003 г. английские рабочие прорывали траншею для укладки нового водопровода в городок Баском-Даун, расположенный неподалеку от знаменитого Стоунхенджа — то ли обсерватории, то ли языческого капища. Землекопы, прервав работу, пригласили из Солсбери представите-

лей фирмы «Уэссекская археология», и вскоре место экскаватора и лопаты заняли пластмассовый совок, метелка и мягкая кисточка.

Надо сказать, что средневековые бритты всерьез считали: стоунхенджские гигантские камни притащить и взгромоздить друг на друга был способен один лишь волшебник Мерлин. Как выглядели и откуда явились те, кто это сделал в действительности, и сегодня понятно не до конца.

В июне 2004 г. археологи, завершив очередной этап исследований, сообщили, что рядом с сооружаемым водопроводом ими обнаружено древнее захоронение трех взрослых мужчин, подростка и трех детей. Их похороны состоялись 4300 лет назад, а это совпадает с прежними датировками гигантской мегалитической постройки. Антрополог Э.Фитцпатрик (A.Fitzpatrick) установил, что индивидуальные черты черепов взрослых и подростка указывают на их родственные связи, остальные, по-видимому, не относятся к членам этой же семьи.

Тщательно соединив осколки глиняного сосуда, лежавшие в захоронении, ученые получили нечто вроде широкого и глубокого плоскодонного кубка, характерного для раннего бронзового века Англии и Уэльса. Химический анализ глины позволил отнести это гончарное изделие к 2300—2200 гг. до н.э.

Несколько ранее английские археологи вскрыли могилу человека, получившего прозвище Эймсбурийского лучника. В его захоронении (тоже сравнительно неподалеку от Стоунхенджа) лежало несколько каменных наконечников от стрел (отсюда и его имя). Когда ученые подвергли анализу эмалевый слой его зубов, выяснилось, что он родился и вырос... в Альпах — именно тамошний химический состав почвы и воды отвечал составу эмали. Это стало сенсацией: до сих пор никто не подозревал о возможности столь дальней миграции для человека начала бронзового века.

Как известно, эмаль человеческих зубов по мере взросления

их владельца поглощает кислород и другие вещества, содержащиеся главным образом в питьевой воде. Геохимики из Британского геологического управления отметили в зубах людей из стоунхенджского захоронения высокое содержание стронция. По соотношению изотопов кислорода, которое зависит от природных условий местной среды (температуры воздуха, удаленности от морского побережья и т.п.), можно утверждать, что эти люди до шестилетнего возраста жили в Уэльсе или в соседнем с ним Озерном крае Англии.

Все, что находилось в индивидуальной могиле Эймсбурийского лучника, свидетельствовало о его высоком социальном статусе, поэтому некоторые археологи предположили, что он мог быть по крайней мере «надзирателем» за непомерной по тем временам «стройкой века» в Стоунхендже.

Валлийское происхождение людей из обнаруженного захоронения явно неслучайно. Только в Уэльсе можно сравнительно неподалеку найти богатые купоросом камни, которые установлены в виде внутреннего кольца стоунхенджского сооружения. Внешнее кольцо образовано гораздо более крупными глыбами песчаника, которые древние строители перетаскивали из каменоломен известнякового плато в районе Марлборо-Дауна, до которого от Стоунхенджа километров тридцать. Каким образом им, не знавшим никакой техники, удалось это сделать, — остается загадкой, как загадочен и метод добычи и доставки для сооружения внутренней окружности даже более мелкого камня, перенесенного с холмов Пресели на юго-западе Уэльса, до которых от туда не менее 250 км.

В нескольких университетских лабораториях Великобритании параллельно проводится радиоуглеродный анализ костного материала, полученного от извлеченных из земли скелетов. Археологи тем временем продолжают раскопки.

Science. 2004. V.304. №5679. P.1889 (США).

О науке — доступно и кратко

В.Г.Сурдин,

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга
Москва

В области популяризации науки произошло небольшое, но приятное событие: родилась серия научно-популярных брошюр карманного формата «Наука сегодня». Двадцать лет назад это вполне могло бы остаться не отмеченным на страницах «Природы», но сегодня — иное дело. И вот почему...

Распад советской системы произошел сравнительно быстро и легко, принесся с собой много долгожданных перемен. Но в те годы невозможно было представить себе всех последствий этого события, хотя было ясно, что многие функции государства теперь будут осуществляться (или не осуществляться) лишь благодаря частной инициативе. Так, издательская деятельность теперь почти полностью перешла в частные руки. При этом мы очень многое приобрели (даже в царской России частного издателя ограничивала цензура, а теперь этого нет), но и немало потеряли. К примеру, более чем на десятилетие потеряли научно-популярную литературу. А дело это нешуточное, если вспомнить, что в советское время тиражи некоторых журналов были миллионными, книг — тысячными, номенклатура научных изданий — широчайшей. И вдруг все обор-

валось, и последние 15 лет этот мощный канал влияния на культуру общества у нас практически бездействовал.

В этих условиях выросло целое поколение школьников. С середины 1990-х преподаватели вузов ощутили заметное снижение уровня выпускников школы, в особенности — сужение их кругозора. Думаю, не последнюю роль в этом сыграло ослабление связи между учеными и обществом, которое традиционно обеспечивается средствами массовой информации и научно-популярной литературой. Медийные каналы, — радио, телевидение, Интернет, — первыми ощутили потребность в общедоступной научной информации и откликнулись разнообразными обзорами научных новостей. Хотя в этом

жанре были и удачные проекты, но в целом их уровень оказался невысок. Сегодня потребность в массовой научно-популярной продукции в значительной степени покрывается у нас за счет импорта: фильмы BBC, канал «Discovery» и т.п. Но специфика заключается в том, что они рассчитаны на широкую аудиторию, следовательно, предполагают довольно низкий образовательный уровень зрителя.

Иное дело — научно-популярная литература: у нас она традиционно создается при активном участии самих ученых и поэтому является более информативной и качественной. Но ее роль за последнее десятилетие в России катастрофически упала, о чем свидетельствует составленная мной таблица.

Тиражи научно-популярных журналов (в тыс. экз.)

Журнал	1980-е годы	2000 г.	Отношение (1980/2000)
Наука и жизнь	3400	40	85
Знание — сила	700	5	140
Химия и жизнь	300	5	60
Природа	84	1	84
Земля и Вселенная	55	1	55
Физика в школе	185	15	12
Химия в школе	180	15	12
География в школе	150	18	8
Юный натуралист	1385	19	73
Квант	315	5	63
Наука в СССР/России	20	1	20
В мире науки	30	0	—
Астрономия, космонавтика	40	0	—

© Сурдин В.Г., 2005

К 2000 г. журналы практически ушли из жизни общества, хотя большинство из них издаются, как прежде, и даже не изменили своего лица. Однако их читательская аудитория сократилась во многие десятки раз. И хотя за последние три-четыре года появилось немало новых и возродились некоторые старые журналы (например, «В мире науки»), их реальные тиражи столь же мизерны.

Буквально та же ситуация и с научно-популярными книгами. Спустя 10 лет почти полного их отсутствия издатели обратили внимание на эту «пустующую нишу», и теперь номенклатура отечественных научно-популярных изданий медленно растет (переводных книг по-прежнему крайне мало). Но тиражи сократились с привычных нам по прошлым годам десятков и сотен тысяч всего лишь до единиц тысяч: уже к моменту публикации они обречены стать библиографической редкостью.

Анализ причин этого нежелательного явления увел бы нас далеко. Отмечу только, на мой взгляд, важнейшие из них: рост цен на книги и журналы относительно среднего уровня цен, появление альтернативных источников информации, изменение структуры общественных интересов. Последние две причины объективные, повлиять на них вряд ли возможно и нужно. Но рост относительных цен на научные книги связан с прекращением государственной поддержки этого сектора; тут есть о чем подумать, если стране действительно нужны мозги. Однако сейчас не хочется говорить о грустном, ибо поводом для рецензии стало приятное событие — появление новой, а точнее — первой за последнее время серии научно-популярных брошюр, предназначенных для широкого читателя.

В советскую эпоху этот жанр был у нас чрезвычайно развит: гигантскими тиражами выпускались копеечные брошюры всех направлений — от классиков марксизма до высшей мате-

матики. Добрым словом можно вспомнить «Научно-популярную библиотеку» Гостехиздата, «Новое в науке» издательства «Просвещение», «Популярные лекции по математике» издательства «Наука» и «Горизонты науки» ее алма-атинского отделения, да и многие-многие другие. На мой взгляд, они сыграли огромную роль в массовом образовании. Их писали лучшие авторы, интенсивно работающие ученые, часто не способные найти время для подготовки большой книги.

Особенно полезны были подписные серии «Новое в жизни, науке, технике» издательства «Знание», выходящие по всем основным отраслям науки. Например, кругозор моих коллег-астрономов существенно поддерживала серия «Астрономия, космонавтика». Поскольку профессиональных астрономов в СССР было около 2000, а брошюр в этой серии вышло несколько сотен (по 12 выпусков в год тиражом около 40 тыс. каждый), то таким образом большинство активно работающих ученых доступно рассказали своим коллегам и десяткам тысяч читателей о сути своей работы. Честное слово, приятно об этом вспомнить.

Но в новых рыночных условиях брошюры не выжили. Их не выгодно готовить издателю (ведь это книга одного издания — через несколько лет передний край науки уйдет дальше), не выгодно брать на реализацию (на полках книжного магазина при открытом доступе брошюра быстро теряет вид), читателю не выгодно подписываться на серию (велика цена почтовой доставки). В коммерческом смысле выигрышными оказались толстые энциклопедические издания. Но ждать от них вестей с переднего края науки бессмысленно, цена их доступна далеко не каждому; а о том, чтобы захватить такой «кирпич» в дорогу, почитать его в метро или на перемене, и мечтать не приходится.

Но идея брошюр не погибла. Насколько мне известно, первыми в нынешней России взялись за их выпуск энтузиасты некоммерческого издательства Московского центра непрерывного математического образования: с 1999 г. они выпускают в виде брошюр тиражом в несколько тысяч экземпляров отдельные лекции, прочитанные на Малом мехмате МГУ (это вечерняя математическая школа для старшеклассников). Серия называется «Библиотека “Математическое просвещение”» и пользуется популярностью у московских школьников и студентов. Но уровень этих брошюр нельзя назвать общедоступным: он требует хорошей математической подготовки.

И вот в 2005 г. впервые появилась действительно популярная серия, как по уровню, так и по тематике. Это брошюры издательства «Век-2» серии «Наука сегодня»: книжечки формата pocket-book объемом в 64 страницы. Цветная мягкая обложка, черно-белые иллюстрации в тексте, хорошая бумага, достаточно крупный шрифт и четкая печать оставляют от этого издания приятное впечатление. Цена — от 40 руб. в издательстве до 52–58 руб. в московских книжных магазинах. Объединены все выпуски тем, что их авторы — признанные авторитеты в своих областях исследования, тематика первых четырех охватывает антропологию и астрофизику.

Их характерной особенностью является «двухуровневая» архитектура: равномерно по всему тексту врезаны «окна», выделяющие ключевые мысли автора. Это удобно для первого просмотра текста или, напротив, для восстановления сути прочитанного. Обычно такой прием используют в электронных текстах на языке HTML, но оказалось, что он вполне годится и для печатных изданий. В действительности, у этих книжечек существует еще и «третий уровень»: тот, кто следит за но-

винками научно-популярной литературы, сразу заметит, что каждая пара брошюр родилась на основе недавно выпущенных тем же издательством «Век-2» больших книг (М.Л.Бутовская. «Тайны пола. Мужчина и женщина в зеркале эволюции»; А.М.Черепашук, А.Д.Чернин «Вселенная, жизнь, черные дыры»). Поэтому у читателя, чье внимание захватит соответствующая брошюра, есть перспектива...

С профессиональной точки зрения я могу оценить выпуски моих коллег, сотрудников Государственного астрономического института им.П.К.Штернберга (МГУ). Член-корреспондент РАН А.М.Черепашук и профессор А.Д.Чернин — известные специалисты и опытные популяризаторы. Поэтому сложную задачу они оба решили успешно: в малом объеме интересно и доступно рассказали о самых современных направлениях астрономии — поиске черных дыр всевозможного масштаба (от звездного до галактического), исследованиях эволюции Вселенной и загадках темного вещества и новых свойств межгалактического пространства, которые называют «темной энергией» (пока не ясно, новый ли это вид поля или неожиданное свойство вакуума).

Обе книжечки не просто рассказывают о новостях, а вводят читателя в проблему «с нуля». Думаю, они будут интересны и вполне доступны очень широкой аудитории: школьникам, учителям, журналистам, естествоиспытателям всех направлений — от биологов до химиков, не говоря уже о физиках. Разве не интересно узнать, как ищут и находят черные дыры, как можно черпать из них энергию (вопреки мнению, что они все поглощают и ничего не возвращают) и какая именно черная дыра располагается в центре нашей Галактики. Разве не потрясающая новость, что совсем недавно астрономы открыли всемирное антитяготение, то есть отталкивание всего от всего? На

бытовом уровне и даже в масштабах Земли оно неощутимо, но в жизни галактик уже играет заметную роль, а со временем эффект антитяготения станет определяющим. Похоже, что Вселенная никогда уже не сожмется, а будет вечно расширяться, да еще с ускорением!

На мой взгляд, эти две астрономические брошюры точно попали в две наиболее горячие точки современного естествознания. На открывшихся недавно при поддержке фонда «Династия» Популярных чтениях по физике в ФИАНе в двух заглавных лекциях были представлены именно эти темы: известный американский специалист Хаун Малдасена (Институт высших исследований в Принстоне) рассказал о черных дырах и структуре пространства-времени, а ведущий российский теоретик В.А.Рубаков — о темном веществе и темной энергии во Вселенной. Одним словом, парадной стороной физики сегодня оказалась «темная сторона астрономии». Не исключено, что отчасти это произошло случайно. Но никто не будет спорить, что именно Вселенная теперь стала для физиков лабораторией, позволяющей изучать экстремальные состояния вещества и пространства-времени. Причем загадочные процессы, перспективные для развития теории, происходят как с видимой материей (напомню об открытии гамма-всплесков, порожденных гиперновыми звездами), так и с невидимым веществом, которое в силу своей невидимости кажется наиболее загадочным и привлекает самую широкую аудиторию ученых и любителей науки.

В брошюре Черепашука, посвященной экспериментальному (если можно так называть астрономические наблюдения) изучению черных дыр, особенно подкупает деловой тон, почти не оставляющий сомнений в существовании этих удивительных объектов. «Всего к настоящему времени измерены



М.Л.Бутовская. ВЛАСТЬ, ПОЛ И РЕПРОДУКТИВНЫЙ УСПЕХ



М.Л.Бутовская. ГОМОСЕКСУАЛИЗМ И ЭВОЛЮЦИЯ

*Фрязино: Век-2, 2005.
(Из сер. «Наука сегодня».)*



А.М.Черепашук. ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ ВО ВСЕЛЕННОЙ



А.Д.Чернин. КОСМОЛОГИЯ: БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ

*Фрязино: Век-2, 2005.
(Из сер. «Наука сегодня».)*

массы 20 черных дыр звездной массы ($m_{ч.д.} = 4-15 M_{\odot}$) и около 300 сверхмассивных черных дыр ($m_{ч.д.} = 10^6-10^{10} M_{\odot}$). Во многих случаях из анализа наблюдений следует, что радиусы этих массивных и чрезвычайно компактных объектов не превышают нескольких гравитационных радиусов, что укрепляет нашу уверенность в существовании черных дыр во Вселенной».

Черные дыры — хрестоматийный пример того, как теоретический прогноз подтверждается практикой. Напротив, темное вещество и темная энергия — это объекты, обнаруженные в природе косвенно, сущность которых совершенно не ясна. В отличие от черных дыр, существования которых теория требовала, антигравитационные свойства вакуума не запрещены теорией, но и не необходимы. Тем не менее, они реально существуют. Читая брошюру Чернина, почти на каждой странице сталкиваешься с шокирующими новостями космологии:

«Тяготение никогда уже не будет преобладать во Вселенной. Динамическое доминирование вакуума будет только усиливаться, а разбегание галактик будет происходить все быстрее и быстрее».

«Чем быстрее разбегаются галактики, тем меньше плотность их распределения, и тем слабее их влияние на свойства пространства—времени. А влияние вакуума тем временем становится все более и более безраздельным».

«Только вакуум способен влиять и не испытывать на себе обратного влияния. Это единственный известный в физике пример, когда действие не равно противодействию — вопреки третьему закону Ньютона».

«У вакуума есть отличная от нуля (и притом отрицательная) активная гравитационная масса, а его пассивная гравитационная масса и инерциальная масса — обе равны нулю».

Для популярной брошюры такие крутые повороты новой

физики непривычны, но тем интереснее в них погружаться! Новейшие успехи космологии поразительны. Астрономические наблюдения последних лет позволили обнаружить во Вселенной темную энергию, или космический вакуум. Сбылось давнее предвидение Эйнштейна — в мире присутствует не только всемирное тяготение, но и всемирное антитяготение, создаваемое космическим вакуумом. В современной Вселенной вакуум и антитяготение преобладают над обычным веществом и обычным тяготением. Поэтому галактики разбегаются друг от друга с возрастающими скоростями. Большой Взрыв продолжается, космологическое расширение происходит с ускорением. Но и сама космология вступила сейчас в полосу взрывного развития: ее достижения — и прежде всего наблюдательные открытия — следуют одно за другим с возрастающей быстротой.

Стоит ли удивляться, что не только астрономы, но и физики сейчас пристально интересуются проблемами космологии. Здесь издательство «Век-2» явно угадало. А как обстоит дело с антропологией?

Две книжечки доктора исторических наук М.Л.Бутовской посвящены вопросам пола с точки зрения биологической эволюции. Эти работы я прочитал как непосвященный читатель, и они мне тоже очень понравились. Круг затронутых в них тем весьма широк. Это не удивительно: Марина Львовна — опытный автор (200 научных публикаций, пять монографий и учебных пособий), руководитель Центра эволюционной антропологии Института этнологии и антропологии РАН, профессор Центра социальной антропологии РГГУ.

В книжке «Власть, пол и репродуктивный успех» рассказано о роли полового отбора в дарвиновской теории. Оказывается, в этой области биологии продолжается интенсивная

борьба гипотез, и буквально в последние годы рождались новые взгляды на механизмы полового отбора. Поведение человека в этой сфере не может быть понято без сравнения с ему подобными приматами и даже более далекими эволюционными предками. Например, такой механизм репродуктивного успеха, как инфантицид (убийство детенышей своего вида), оказывается, характерен и для людей: статистика указывает, что приемные отцы убивают усыновленных детей в 65 раз чаще, чем родные отцы — собственных детей. Весьма любопытно также обсуждение в книге вопроса о том, насколько глубоко половые различия простираются в область психики и интеллекта, оправдано ли стремление к равноправию мужчин и женщин, и в какой степени такое равноправие согласуется с борьбой за существование.

Разумеется, малый объем брошюры не позволил раскрыть все затронутые в ней вопросы. Так, меня заинтриговало следующее утверждение: «Особенности строения половой системы современных мужчин свидетельствуют, что человек эволюционировал как вид, практикующий полигинию». Но каковы эти особенности, осталось тай-

ной. Думаю, автор сделал это сознательно, желая привлечь внимание читателя к теме. Кстати, для пояснения терминов в конце брошюры есть маленькие словарики, что удобно для непосвященных читателей.

Тема второй брошюры Бутовской — гомосексуализм — на первый взгляд может показаться чересчур рекламной или даже «бульварной». Но в изложении профессионала вопрос оказался настолько глубоким и интересным, что горячо рекомендую эту брошюру всем, кто неравнодушен к генетике и теории эволюции. Сначала автор кратко рассказывает о половом размножении — его возникновении и эволюционных преимуществах. Затем — о гермафродитизме и циклической смене пола у некоторых животных. Кратко рассказано о «непорочном зачатии» (однополном деторождении) у некоторых животных и о том, что пол потомства может контролироваться внешними факторами, например, температурой воздуха или длиной светового дня. В связи с этим я впервые узнал о теории Д.Миллера, объясняющей вымирание динозавров 65 млн. лет назад тем, что потепление климата вызвало у них рождение одних самцов, что и погубило гигантов.

Почему же гомосексуализм — редкое явление? На это автор отвечает гипотезой: «Возможно, современное преобладание гетеросексуального поведения у мужчин является следствием культурных ограничений. Этот парадокс вполне объясним на фоне другого противоречия: напомним, что, в соответствии с предсказаниями эволюционных психологов, мужчины предрасположены к промискуитетным отношениям (беспорядочное спаривание с разными партнершами), но на практике большинство мужчин сегодня практикуют моногамию и остаются верны своим женам. По всей видимости, в этом случае речь идет о влиянии мощных культурных ограничений, идущих вразрез с эволюционными предрасположенностями». Ну скажите, можно ли такую книгу не дочитать до конца?

Как видим, пока в серии брошюр представлены лишь вопросы пола и «темная сторона астрономии», но это модные темы, и можно понять издателей, пожелавших именно так заявить о новой серии. Я знаю, что в планах издательства — новые брошюры по астрономии, генетике, философии, психиатрии. На мой взгляд — весьма своевременная инициатива. Посмотрим, что скажет читатель. ■

Астрономия

Марсианский календарь на 2005 год. Нижний Новгород: Передний край, 2005. 24 с.

В Нижнем Новгороде издан необычный календарь — настоящий подарок для тех, кто интересуется изучением планет Солнечной системы. На первый взгляд, это традиционный настенный перекидной календарь на 2005 г., иллюст-

рированный астрономическими фотографиями, в данном случае — цветными снимками, переданными с поверхности Марса американскими мобильными лабораториями «Spirit» и «Opportunity». Но содержание этого издания значительно глубже. Кроме великолепных панорамных снимков Марса (в хорошем полиграфическом исполнении размером 20×45 см они смотрятся много эффектнее, чем на экране

компьютера), «Марсианский календарь» в действительности содержит сразу два календаря: земной и — на самом деле — марсианский. Имея их перед глазами, очень удобно следить за ходом экспедиций с Земли на Красную планету. Помимо обычного григорианского, в издании приведен «Дарийский календарь», разработанный специально для Марса американским ученым и инженером Томасом Гангалем.

В издании также содержится информация об исследованиях Марса космическими аппаратами, включая карты маршрутов экспедиций и некоторые результаты их работы. Особенно полезными они будут для тех, кто собирается наблюдать противостояние Марса 7 ноября 2005 г. Если этот проект продолжится, то со временем у обладателей «Календарей» соберется настоящая энциклопедия исследований Марса, имеющая безусловную ценность для всех естествоиспытателей.

Зоология

О.Ф.Чернова, Т.Н.Целикова.

АТЛАС ВОЛОС МЛЕКОПИТАЮЩИХ: Тонкая структура остевых волос и игл в сканирующем электронном микроскопе. Отв. ред. В.Н.Большаков. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. 429 с.

Книга обобщает многолетние исследования по изучению тонкого строения (архитектоники) волос и игл млекопитающих в целях систематизации данных, разработки унифицированной терминологии и выделения таксономически значимых и адаптивных черт. Эта работа началась более 30 лет назад под руководством академика В.Е.Соколова и завершена в соответствии с его планами.

Атлас представляет первую в научной литературе сводку данных о тонком строении остевых волос и игл млекопитающих, полученных при помощи сканирующей электронной микроскопии. Теоретическая часть посвящена проблеме происхождения и эволюции волосяного покрова. Иллюстративная часть охватывает 322 вида, представляющих 238 родов, 64 семейства и 18 отрядов класса млекопитающих, в том числе редких, исчезающих и несколько ископаемых форм. Повидовая демонстрация тон-

кого строения волос и игл предполагает использование Атласа в самых разных целях — таксономии, судебной экспертизы, криминалистики.

Материал добыт в разных областях бывшего СССР, во Вьетнаме, Перу, Эфиопии, на о.Куба, а также получен из коллекций Зоологического музея МГУ и Музея естественной истории Смитсоновского института (США).

Геохимия

А.А.Ярошевский. ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОХИМИИ:

Конспект лекций. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2004. 194 с.

Эти лекции были подготовлены по предложению заместителя директора ГЕОХИ РАН профессора А.А.Кадика для аспирантов и молодых сотрудников института, чтобы ознакомить их с основами современной геохимии. При подготовке материалов было решено, что важнее и интереснее не просто пересказать курс геохимии, читаемый автором в Московском государственном университете им.М.В.Ломоносова, а по возможности привлечь новые данные и обратить внимание на нерешенные проблемы современной науки, интересующие более широкую аудиторию.

В отборе материала автор следовал двум принципам: изложить в крайне сжатом виде фундаментальный фактический материал геохимии и обсудить его интерпретацию на языке физической химии. В ближайшее время готовится к публикации полный текст прочитанных лекций; цифровой и графический материал, иллюстрирующий обсуждаемые идеи и интерпретации, будет уточнен.

Издание представляет интерес, в первую очередь, для спе-

циалистов в области геохимии, кристаллохимии, минералогии, петрографии.

История. Философия

В.П.Казарян, Т.П.Лолаев.

МАТЕМАТИКА И КУЛЬТУРА. Под ред. С.А.Лебедева. М.: Научный мир, 2004. 288 с.

Математика как культурное явление представляет собой достаточно самостоятельное образование, характеризующееся определенными ценностями и нормами деятельности. Вместе с тем она не изолирована от других областей культуры, созданных человечеством на протяжении истории, таких, как естественные и общественные науки, литература и искусство, философия.

Книга представляет интерес как учебное пособие для студентов, изучающих философию. Большинство обсуждаемых здесь проблем, изложенных в целостной форме, не удастся найти в другой учебной литературе. Форма подачи материала не является чисто академической. Авторы оживляют текст цитатами, взятыми из трудов философов, примерами из истории науки, искусства. Такой подход позволяет читателю глубже проникнуть в проблему и познакомиться со своеобразием взглядов различных мыслителей, органически воспринимая своеобразие стиля и изложения.

Учебное пособие дает системное изложение образа математики в других областях культуры, в том числе и в научных дисциплинах. Проанализирована связь математики и творческой деятельности человека в современном мире, а также возникающие при этом этические и социальные проблемы. С философской точки зрения объясняется процесс математизации научного знания.

«Люди вглядывались в темную синеву небес и мечтали...»

Л.А.Филина

Мемориальный дом-музей им.С.П.Королева
Москва

7 сентября 1964 г., заканчивая письмо с некоторыми замечаниями и предложениями по статье «История русской ракеты», Сергей Павлович Королев написал ее автору, Валентину Петровичу Глушко*: «Работая над этим материалом, я многое вспомнил, перелистал много <...> в том числе и некоторые материалы по ГДЛ [Газодинамическая лаборатория в Ленинграде. — Л.Ф.], имеющиеся у нас. Как приятно, и порою как грустно, все это вспоминать и как трудно обо всем этом хорошо и достойно написать. Желаю тебе в этом деле самого большого и доброго успеха».

Королев всегда выражался просто, точно и по существу. Сегодня мы, читатели и слушатели многих исторических опусов и сами отчасти повествователи, можем подтвердить, хорошо и достойно пишут редко. Но желание осмыслить прошлое Великой державы, ставшей к тому же в этом веке первой Космической державой, неизбывно.

Один из раритетов Мемориального дома-музея академика С.П.Королева (1907—1966) позволяет прикоснуться к событиям 1957 г., предшествовавшим запуску первого искусственного спутника Зем-

* Валентин Петрович Глушко (1908—1989) — главный конструктор, входивший в легендарный «Совет Главных конструкторов», ближайший соратник С.П.Королева, генеральный конструктор НПО «Энергия» (1974—1989).

© Филина Л.А., 2005

ли, с которого начался отсчет космической эры человечества.

Как и все 17 тыс. экспонатов, он передан на государственное хранение в музей вдовой Главного конструктора — Ниной Ивановной Королевой, бережно сохранившей все, что было связано с именем ее великого мужа.

Красная нарукавная повязка из миткаля. В центре нашит ромб из белой ткани. На нем бордовым написаны цифры «62» — стартовый номер боевого расчета. В левом верхнем углу по диагонали одна под другой написаны чернилами крупно и четко две даты — 15 мая 1957 г., 21 августа 1957 г., по нижнему краю еще одна — 4 октября 1957 г. Под каждой из них размашистая подпись Королева. Поразительный он был человек — не только творец истории, но и романтический ее летописец. Жаль, что времени на летописание судьба ему почти не отпустила.

Итак, три даты. Две из них — 21 августа и 4 октября — на слуху и на виду у всего мира. О первой знают гораздо меньше. Правда, в последние годы появились многочисленные сборники воспоминаний, в том числе и тех, кто самоотверженно трудился над созданием первых ракетных и космических систем в нашей стране.

Однако у читателя возникает ощущение, что авторы их за прошедшие десятилетия многое переосмыслили и не всегда могут передать дух, колорит времени. Поэтому так дороги документы, бесстрастно констатирующие события, и так бесценны строчки писем и



С.П.Королев на полигоне
«Капустин Яр». 1949 г.

дневников, написанных не для публики, не для анналов.

Когда читаешь письма Королева жене, перед глазами встает почти осязаемый образ энергичного и утомленного, целеустремленного и подавленного, уверенного и сомневающегося, жесткого и очень нежного человека. Он писал о проблемах, невзгодах и первых успехах из Капустина Яра, делился сомнениями, огорчениями, жестокими провалами и счастливыми мгновениями, находясь в степях Казахстана. Документальным подтверждением этому 102 письма Королева жене. Они хранятся в фондах нашего музея. О некоторых из них мы и расскажем сегодня, чтобы глазами Главного конструктора

увидеть, как все было в незабываемом 1957 г. Десять писем, два месяца жизни Королева и целая страница истории отечественной ракетно-космической техники.

Из официальных источников известно, что в среду 10 апреля 1957 г. на первом заседании Госкомиссии по проведению летных испытаний Королев доложил о результатах экспериментальной отработки и подготовки ракеты Р-7. Целью первых пусков стала отработка техники старта, динамики управляемого полета первой ступени и процесса разделения ступеней, а последующих — проверка и отработка системы радиоуправления, динамики управления полетом второй ступени и движения головной части до цели.

В воскресенье 14 апреля с Казанского вокзала Королев с коллегами отправился в первую экспедицию на полигон, самую длительную из шести предстоявших ему в 1957 г. Он вернулся домой только 19 июня.

В письме от 21 апреля Сергей Павлович подробно описал дорожную неспешную жизнь. Он ехал в одном купе «с Колюней*», который «был необычайно мил <...> во все время путешествия <...>. Много кушали, много читали и говорили, как всегда в поезде». Поздно вечером, в среду прибыли на станцию Тюра-Там. Первопроходцев космоса ждали: печальный пейзаж — «Ни кустика, ни деревца — все голо, сожжено солнцем», не очень обустроенный быт — «живем мы вместе с Вас. Павл.** в махоньком домишке прямо в поле. У дверей стоит солдатик, а рядом в таких же домишках вся наша компания»; работа на износ — «Работаем много, весь день до полной ночи и еще ходим на 2—3 часа

в течение ночи». И далее: «Мы с Василечком целый день в хлопотах, бывает, что, разойдясь рано утром, только ночью и встречаемся»; мучительные сомнения — «Все ли нами сделано как надо, все ли предусмотрено так точно и верно, как это необходимо?!»; и тоска по дому и жене — «Очень жду твоих писем, как всегда и читаю по несколько раз и чувствую тебя, моя родная, здесь рядышком и чувствую тепло нашего милого дома».

Не замедлил сказаться тяжелый климат: «Жить здесь просто ужасно: сухой (влажность бывает 7—10%), ветры и зной, испепеляющий все живое». Несколько дней его беспокоили боли в сердце, уже в первом письме Королев просит Нину Ивановну прислать ему «еще 5 тубиков» валидола не только для себя, но и «для товарищей». Эта просьба повторяется и в последующих письмах.

И только 1 Мая все немного передохнули, помылись и отоспались. В этот праздничный день в письме к жене, рассказывая о событиях последних двух недель, Королев размышлял об отношении человека к порученному делу, о коллегах и о том личном, что каждый вкладывает в свой труд, и как это важно вообще.

Из официальных источников: «5 мая 1957 г. ракету Р-7 №М 1-5 вывезли на стартовую позицию. Работы по подготовке ракеты к пуску, учитывая новизну и ответственность, были разбиты на несколько дней, в частности заправка ракеты компонентами топлива предусматривалась на восьмой день».

9 мая в ответ на обеспокоенное письмо Нины Ивановны от 30 апреля, интуитивно чувствовавшей тяжесть не столько физического, сколько главным образом его нервного напряжения, Сергей Павлович, дабы успокоить ее, на семи страницах очень подробно описывает житейское бытие. За строчками этого оптимистичного письма виден волевой и глубоко порядочный человек — «моя родная, <...> не надумывай лишних страхов, т.к. у нас здесь не так уж плохо подготовлено: техника у нас хорошая, народ опытный, большая по-

мощь нам идет по первому зову и самое главное — мы здесь среди наших старых и проверенных друзей. Какие бы ни были здесь отдельные нюансы и шероховатости в отношениях, но все же все мы очень смотрим друг за другом и дружески помогаем. Мы не спешим, наш девиз — беречь людей».

На долгожданную весть о получении женой в конце апреля в Военной коллегии Верховного суда справки о своей реабилитации Королев отреагировал только на шестой странице: «Очень меня обрадовало твое сообщение о Решении Верхсуда. Наконец-то и это все окончательно закончилось. Конечно, я здесь невольно многое вспомнил и погоревал, да ты и сама можешь себе представить, как печальна вся эта кошмарная эпопея. <...> Прошу тебя, в очередном письме напиши мне дословную формулировку из справки Верхсуда». Его явно интересовала возможность ознакомиться с «Делом» — «Что они (Верхсуд) говорили о просмотре дела? Они предлагали его посмотреть? Это было бы, вероятно, очень интересно и поучительно к тому же».

Как известно, Королев был арестован органами НКВД в ночь с 27 на 28 июня 1938 г. Ему было инкриминировано участие в антисоветской подпольной организации и вредительство в области новой техники. Приговор Военной Коллегии Верховного суда гласил — содержание в исправительно-трудовом лагере сроком на 10 лет с конфискацией личного имущества. Сергей Павлович остался жить, но допросы, одиночная камера, изнурительная и унижительная дорога по этапу через всю страну на колымский золотоносный прииск Мальдяк, где, по его словам, «копал золотишко», — все это он извещал сполна.

По некоторым сведениям, значительную роль в судьбе Королева в тот период сыграл А.Н.Туполев. Он включил Сергея Павловича в список специалистов, необходимых для выполнения государственного заказа в возглавляемом им конструкторском бюро в Москве. Парадоксы судьбы и времени:

* Николай Алексеевич Пилюгин (1908—1982) — главный конструктор, входивший в легендарный «Совет Главных конструкторов», ближайший соратник Королева.

** Василий Павлович Мишин (1917—2001) — конструктор ракетных комплексов боевого и космического назначения. С 1946 г. в течение двадцати лет был бессменным первым заместителем Королева и его ближайшим соратником.



1950-е годы.

Туполев руководил КБ, находясь, как и Королев, под стражей. В июле 1941 г. конструкторский коллектив Туполева вместе с опытным заводом был эвакуирован в Омск. Там Королев назначен заместителем начальника сборочного цеха. В 1942 г. он был переведен в Казань, где работал, все еще находясь под стражей, на авиационном заводе №16 в ОКБ Спецотдела НКВД в качестве главного конструктора группы РУ — реактивных установок. В августе 1944 г. Королев был досрочно освобожден со снятием судимости. За работу в годы войны он был награжден медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.» и Орденом «Знак Почета».

В сентябре 1945 г. Королев был командирован в советскую зону Германии для изучения новой техники. 9 августа 1946 г. назначен главным конструктором ракет дальнего действия в только что созданном тогда головном НИИ по ракетной технике. В 1953 г. Сергей Павлович был принят в члены КПСС, избран членом-корреспондентом АН СССР по отделению технических наук, а в 58-м — действительным членом АН СССР. Любопытно, что еще до реабилитации в апреле 1956 г. Ко-

ролеву было присвоено звание Героя Социалистического труда.

Накануне первого пуска Сергей Павлович неожиданно заболел. Температура — 38°C, боль в горле, бессонная ночь. Но работу он не оставлял, медики делали уколы пенициллина каким-то особым, очень болезненным, но, вероятно, действенным способом, «через баночку» прямо на рабочем месте. Человек выдержал. Не выдержала ракета.

Из официальных источников: «Первый пуск состоялся 15 мая 1957 г. в 19 ч 01 мин по московскому времени. По визуальным наблюдениям полет протекал нормально до 60-й секунды, затем в хвостовом отсеке стали заметны изменения в пламени истекающих газов из двигателей. Обработка телеметрической информации показала, что на 98-й секунде полета отвалился боковой блок Д, и ракета потеряла устойчивость. Причиной аварии явилась негерметичность топливной магистрали горючего». Однако этот пуск позволил получить опытные данные по динамике старта и участку полета 1-й ступени. Именно поэтому на нарукавной повязке Королева появилась первая надпись: «15 мая 1957 г.»

Эта частичная неудача была неприятна, но ожидаема. Те майские дни для всех были очень «трудные, наполненные до краев и техникой самой невозможной и самыми невероятными вспышками среди человеческих отношений», — так пишет жене Сергей Павлович. Значительно поредели ряды: уехали в Москву разгневанный на всех В.П.Бармин*, расстроенный семейными неурядицами Пилюгин, больной Л.А.Воскресенский**. У оставшихся настроение было скверное: «Но мы так не сдадимся: много, очень много рабо-

* Владимир Павлович Бармин (1909—1993) — главный конструктор наземных стартовых комплексов боевых и космических ракет, входивший в легендарный «Совет Главных конструкторов».

** Леонид Александрович Воскресенский (1913—1965) — сотрудник ОКБ С.П.Королева с 1946 г., его заместитель и ближайший соратник.

таем, много думаем и найдем, в чем дело, и решим все до конца».

Труднее всех было, конечно, ему — лидеру. «Не скрою, — очень переживаю наши неудачи», — признается он жене. Но Королев не мог позволить себе поступиться общим делом: «Вообще, конечно, распускаться нам нельзя ни при каких обстоятельствах». И как бы в подтверждение этих слов, Сергей Павлович просит жену: «Напиши мне, как чистят белые туфли?» На полигоне, в летнюю изнуряющую жару он предпочитал носить парусиновые туфли.

Неудача не парализовала, напротив, обстоятельства требовали скорейшего осмысления происходящих событий и явлений, с тем чтобы принять безошибочное решение. Это было невероятно трудно, ведь, по словам Королева: «Безграничная книга Познания и Жизни (громко сказано!) листается нами впервые». Многочисленные споры, обсуждения, разные мнения, характеры и настроения людей — все это тяжким бременем лежало на Королеве, отнимая много сил и нервной энергии. Вот как в этой ситуации определяет он свою роль: «Кроме того (и это, пожалуй, самое важное), моя лично задача состоит в том, чтобы сплотить, а не разобщить нашу группу конструкторов, которая столько создала за эти годы. Ведь вместе — мы сила в нашей области техники».

За три дня до второго пуска, намеченного на 11 июня, Главный конструктор надеется: «До берега уж не так далеко, и мы, конечно, доплывем, если только будем дружно, вместе выгребать против волн и штормов. <...> Будь спокойна и терпелива, — мы пробьемся через все бури и непогоды к Янтарному берегу покоя, на берегу голубой реки, где на песках шумят величавые сосны <...> Мечты, мечты. <...> Но впрочем, ведь человек без мечтаний все равно, что птица без крыльев. Правда?»

Читая эти и многие другие строки, написанные Главным конструктором, невольно вспоминаешь слова академика Б.В.Раушенбаха о том, что у Королева был художественный природный та-

лант. Что он вынужденно обеднил свою жизнь, отдав себя целиком науке, космосу. И что в этом не только научный, но и огромный гражданский, человеческий подвиг Сергея Павловича, что это исторически необходимое его самопожертвование.

Второй пуск не удался вовсе, несмотря на три попытки. Ракета была снята с пускового устройства и возвращена на техническую позицию. 12 июня Сергей Павлович жалуется жене: «Так тяжело на сердце, даже трудно себе представить. Столько труда и сил мы все вложили, и все пошло прахом». На этот раз письмо короткое, и о неудаче, кроме приведенного выше, ничего нет, но Нине Ивановне и этого было достаточно. Боль и отчаяние мужа она ощущала без слов. Ее письмо, переданное с оказией Сергею Павловичу, подействовало магически — «Моя родная светлая девочка! Как будто кто мне влил новые силы после прочтения твоего такого теплого, безгранично заботливого и нежного письма, — пишет он 15 июня. — Спасибо, тысячу раз большое тебе спасибо, мой верный и дорогой друг, за твои слова участия и поддержки».

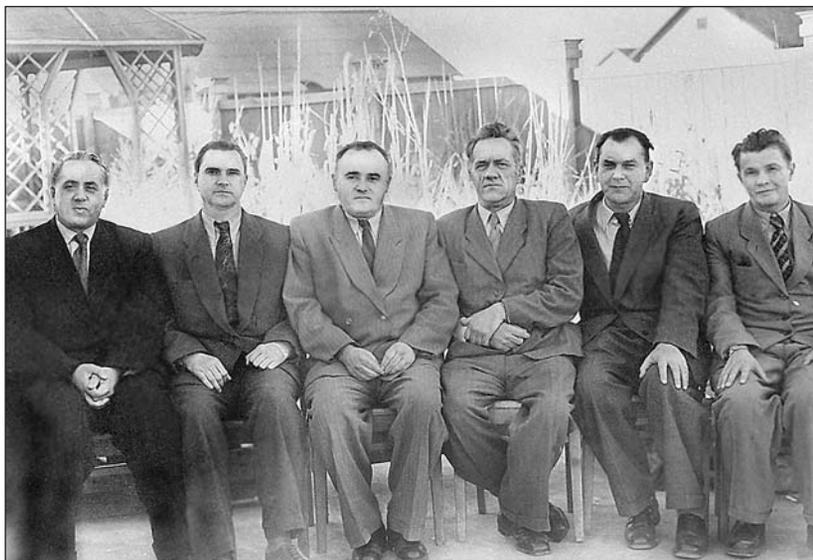
Не менее волшебным оказался и торт, переданный ею вместе с письмом. 14 июня у Сергея Павловича в домике собрались все главные конструкторы и заместитель Д.Ф.Устинова по ракетным делам К.Н.Руднев «...и все после длительного и «злого» совещания сидели, опустив головы. Тогда я достал «Зайньку» [торт с огромным шоколадным зайцем. — Л.Ф.], и, надо сказать, эффект был неописуемый! <...> Было общее пожелание послать тебе благодарственную ВЧ-грамму». Творцы великой истории и большие дети в одном лице.

Королев невероятно устал, все чаще беспокоили боли в сердце, короткий отдых был необходим и возможен.

Вторая экспедиция была значительно короче — со 2 по 22 июля. 12 июля третий пуск и вновь неудача: на 33-й секунде полета ракета потеряла устойчивость. Вновь разборки, выяснение причин аварии, новые вопросы и не-



Сергей Павлович и Нина Ивановна Королевы. 1964 г.



«Совет Главных конструкторов». Слева направо: М.С.Рязанский, Н.А.Пилюгин, С.П.Королев, В.П.Глушко, В.П.Бармин, В.И.Кузнецов. Байконур. 1957 г.

обходимость решения новых задач. Что спасало людей от отчаяния? В письмах Сергея Павловича к жене есть ответ — ясность цели, титанический труд, непоколебимая вера в себя и товарищей и в то, что твое дело необходимо государству. И это не надуманные высокопарные слова, а удивительная правда ветеранов советской ракетно-космической техники.

Третья экспедиция Королева началась 13 августа. 21 августа ракета впервые достигла района цели. И на нарукавной повязке появляется вторая дата «21 августа 1957 г.» Только спустя шесть дней в газетах было опубликовано сообщение ТАСС об испытании в Советском Союзе межконтинентальной баллистической ракеты. 31 августа Сергей Павлович вер-

нулся домой. Но отдых был символическим. Положительный результат надо было закрепить, и 5 сентября он вновь на космодроме. 7-го состоялся очередной пуск ракеты Р-7, подтвердивший результаты предыдущего, что и позволило использовать эти ракеты для запуска первых двух искусственных спутников Земли.

Четвертая командировка Королева была самая короткая в 1957 г. Всего пять дней. 10 сентября — он дома. Здесь ждали дела, в том числе и общественные.

Есть какая-то знаковость в том, что год начала космической эры был годом 50-летия С.П.Королева и 100-летия со дня рождения К.Э.Циолковского. И кто, как не Главный конструктор, должен был выступить с памятным благодарственным словом, ведь только он мог так уверенно объявить 17 сентября 1957 г. с трибуны Колонного зала Дома Союзов: «В ближайшее время с научными целями в СССР и США будут произведены первые пробные пуски искусственных спутников Земли».

Пятая экспедиция — с 27 сентября по 6 октября стала триумфальной. В этой экспедиции на нарукавной повязке появилась третья, ставшая исторической дата — «4 октября 1957 года (ПС-1)».

**Выписка из приказа
Председателя
Государственного комитета
Совета Министров СССР по
оборонной технике.**

Москва № 5 СС 28 декабря 1957 г.

Совет Министров СССР Постановлением от 18 декабря 1957 г. № 1419 – 658 за успешное создание и запуск в Советском Союзе первого в мире Искусственного спутника Земли принял решение:

- 1) построить в 1958 г. за счет государства дачи для главных конструкторов тт. Королева С.П., Глушко В.П., Рязанского М.С., Пилюгина Н.А., Бармина В.П. и Кузнецова В.И. и передать их в собственность главных конструкторов;
- 2) обязать Министерство финансов СССР перечислить через Госбанк СССР необходимые сред-

ства для строительства дач за счет ассигнований по разделам «Б» специальных работ;

3) обязать Совет Министров РСФСР отвести земельные участки под строительство указанных дач.

А.Домрачев

Согласно этому документу Сергеем Павловичем получен земельный участок и дом, который теперь именуется как Мемориальный дом-музей им.С.П.Королева в 6-ом Останкинском переулке близ ВДНХ.

Часто спрашивают, думалось ли в те дни о грандиозности происходящего? Для утвердительного ответа достаточно нескольких строк великого мечтателя и еще более великого реалиста XX века. 8 июня 1957 г., за четыре месяца до запуска 1-го ИСЗ, в знойной степи Казахстана, где в эту пору и днем и ночью прекрасно только безоблачное небо, Королев писал: «А сейчас ведь близка к осуществлению, пожалуй, самая заповедная мечта человечества. Во все века, во все эпохи люди вглядывались в темную синеву небес и мечтали». ■

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
Е.А.ПИМЕНОВА

Графика, верстка:
Д.А.БРАГИН

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 22.08.2005
Формат 60×88 1/8
Бумага типографская №1,
офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 594
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6