

# ПРИРОДА

6 05



**В НОМЕРЕ:****3 Корочкин Л.И.****Что такое стволовые клетки**

За последние годы стволовые клетки стали незаменимым инструментом в изучении биологии развития, удобной моделью для анализа роли генов в клеточной дифференцировке и весьма перспективным методом для клеточной и генной терапии.

**12 Далин П.А., Перцев Н.Н., Ромейко В.А.****Серебристым облакам 120 лет?**

В июле 1885 г. астрономы из разных стран Европы впервые увидели в ночном небе серебристые облака. Похоже, 120 лет назад они обнаружили природное явление, которого раньше не было.

**22 На форуме гидрологов: оценки, эксперименты, прогнозы****30 Калейдоскоп**

Новое зеркало для космических телескопов (30). Судно пересекает Южный полярный круг (30). Откуда Гольфстрим на древнейшей карте? (30). Трепанация черепа в XI веке (72). Рекордный улов (72).

**31 Зеленый Л.М., Григоренко Е.Е.****Квартет «Cluster» исследует тайны магнитосферы**

Плазменные волны на магнитопаузе, расщепление токовых слоев, пересоединение магнитных силовых линий, ускорение ионных пучков — вот лишь немногие из процессов в магнитосфере, которые мы можем детально изучать благодаря измерениям четырехспутниковой системы и «Cluster».

**Лекторий****41 Гордеева А.В., Лабас Ю.А.****Одноклеточные альтруисты**

Альтруизм — жертвование собой ради других — присущ людям и высшим животным, отдельным клеткам и органам. Но подобную жертву приносят и одноклеточные организмы. Они совершают самоубийство для блага соседей. Каковы механизмы и назначение этого процесса? Как клетки «научились» погибать «по команде» и по какой именно?

**Научные сообщения****49 Панова Т.Д.****Раковины каури в находках Московского Кремля****Басов И.А., Рубаник Н.К.**

**Кайнозойская эволюция юго-восточной части Тихого океана 202-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн» (65)**

**52 Вавилин В.А.****Автокатализ и флуктуации в природе**

Автокатализ, как и волновые процессы, характерен для многих динамических систем в природе и обществе. Распространение эпидемий, религиозных учений и научных знаний — лишь некоторые примеры процессов, у которых всегда есть взлеты и падения.

**Вести из экспедиций****60 Паклина Н.В., Орден К.ван****Лошади Пржевальского в Китае****67 Левицкий М.М., Смирнов В.В.****Каталитический этюд**

В природе не существует полимеризации, галогенирования, нитрования и т.п. Однако реакции такого типа крайне необходимы для получения многих соединений, без которых современная цивилизация обойтись не может. Поэтому химики и развивают область науки, именуемую катализом.

**73 Боринская С.А., Коротаев А.К.****Алгебра и гармония социальных структур: от общины до империи**

Невозможно сравнивать между собой общества в целом — каждая социальная система уникальна. Но можно сравнивать показатели, имеющие числовые выражения.

**79 Новости науки**

«Cassini» около Сатурна: первые открытия (79). Самая далекая галактика (80). Ультрафиолетовая астрономия под угрозой (80). Все больше странных «горячих» планет (81). Звезда размером с планету. **Вибе Д.З.** (82). Солнечные затмения на Марсе (82). И опять: «...есть ли жизнь на Марсе?» (83). Критическая температура алмазных пленок подросла (83). Конвергентная эволюция у дарвиновых вьюрков (84). О чем рассказали... крысы (84). Уникальная социальная жизнь носухи. **Опаев А.С.** (85). Мировые затраты на геологическую разведку (85). Новый взгляд на океанический конвейер (86). Пробуждение вулкана Аву (86). Колибри-европеец нашелся в комод! (87). Увидеть мумию насквозь (87).  
Коротко (48, 51, 59)

**Рецензии****88 Силкин Б.И.****Событие в мире наук о Земле и Мировом океане****90 Новые книги****Встречи с забытым****92 Сытин А.К., Рязанова Л.В.****Гербарий Абрахама Энса**

## CONTENTS:

### 3 **Korochkin L.I.**

#### **Stem Cells: What Are They?**

*In recent years stem cells have become indispensable research tool in development biology studies, a convenient model for analysis of gene functions in cell differentiation and a rather promising method of cell and gene therapy.*

### 12 **Dalin P.A., Pertzev N.N., Romeyko V.A.**

#### **Noctilucent Clouds – 120th Anniversary?**

*In June 1885 astronomers from different European countries for the first time have seen noctilucent clouds in the night sky. It seems that 120 years ago they discovered a natural phenomenon that did not exist before.*

### 22 **At Forum of Hydrologists: Estimates, Experiments, Forecasts**

### 30 **Kaleidoscope**

New Mirror for Space Telescopes (30). Vessel Intersects the Antarctic Circle (30). Wherefrom Golfstream Appear on Ancient Map? (30). Trepanation of the Skull in the XI Century (72). Record Catch (72).

### 31 **Zelenyi L.M., Grigorenko E.E.**

#### **Four-point «Cluster» Mission Inquires Into Mysteries of Magnetosphere**

*Plasma waves at the magnetopause, bifurcation of the current sheets, reconnection of the magnetic field lines, acceleration of ion beamlets are only few among various processes in magnetosphere that we can thoroughly study using four-point spacecraft mission «Cluster».*

### Lectures

### 41 **Gordeeva A.V., Labas Yu.A.**

#### **Unicellular Altruists**

*Altruism – an ability to sacrifice oneself for the sake of somebody else – is inherent in humans and higher animals, individual cells and organs. But such sacrifices are offered also by unicellular organisms. They commit suicide for the sake of their neighbours. What are the mechanisms and purpose of this process? How cells «have learned» to perish at the command and what this command is?*

### Scientific Communications

### 49 **Panova T.D.**

#### **Cowrie Shells in Archeological Finds of Moscow Kremlin**

### **Basov I.A., Rubanik N.K.**

#### **Neozoic Evolution of South-East Pacific 202th Expedition of «JOIDES Resolution»**

### 52 **Vavilin V.A.**

#### **Autocatalysis and Fluctuations in Nature**

*Autocatalysis, just like oscillatory processes, is typical for many dynamic systems in nature and society. Dissemination of epidemics, religious doctrines and scientific knowledge are only some examples that always have their ascents and downfalls.*

### News from Expeditions

### 60 **Paklina N.V., Orden K. van**

#### **Przhevalsky Horses in China**

### 67 **Levitzky M.M., Smirnov V.V.**

#### **Catalytic Etude**

*Living organisms are synthesizing various substances literally from earth, water and air using catalysts – enzymes. Chemists create a lot of compounds that do not exist in nature also by using catalysts, but beforehand they have to invent these catalysts.*

### 73 **Borinskaya S.A., Korotaev A.K.**

#### **Algebra and Harmony of Social Structures: From Community to Empire**

*It is impossible to compare societies taken as a whole: every social system is unique. But it is possible to compare indices expressed numerically.*

### 79 **Scientific News**

«Cassini» Near Saturn – the First Discoveries (79). The Most Distant Galaxy (80). Ultraviolet Astronomy Imperiled (80). More and More Strange «Hot» Planets (81). A Star Sized as a Planet. **Vibe D.Z.** (82). Solar Eclipse on Mars (82). And Again: «...Is There Life on Mars?» (83). Critical Temperature of Diamond Films Got Higher (83). Convergent Evolution in Darwin's Finches (84). What Did Rats Tell (84). An Unique Social Life of Brown Coati. **Opayev A.S.** (85). World's Spending on Geological Survey (85). A New Look on Ocean Conveyor (86). Volcano Avu Have Aroused (86). An European Humming-Bird Was Found in a Locker! (87). To See Through a Mummy (87).

*In Brief (41, 51, 59)*

### Book Reviews

### 88 **Silkin B.I.**

#### **An Event in Earth and Ocean Sciences**

### 90 **New Books**

### Encounters with Forgotten

### 92 **Sytin A.K., Ryazanova L.V.**

#### **Abraham Ens's Herbarium**

# Что такое стволовые клетки

Л.И.Корочкин

**П**онятие «стволовые клетки» впервые появилось в России еще в начале прошлого века. Тогда великий российский гистолог А.А.Максимов, изучая процесс кроветворения, пришел к выводу об их существовании. Что же это за клетки и каковы их отличительные свойства?

Стволовые клетки могут давать начало любым клеткам организма — и кожным, и нервным, и клеткам крови. Сначала полагали, что во взрослом организме таких клеток нет и существуют они лишь в самом раннем периоде эмбрионального развития. Однако в 70-е годы А.Я.Фриденштейн с соавторами обнаружили стволовые клетки в мезенхиме (строме) «взрослого» костного мозга, в дальнейшем их стали называть *стромальными* клетками. Тогда же появились работы, доказывающие наличие стволовых клеток практически во всех органах взрослых животных и человека. В связи с этим принято разделять стволовые клетки на *эмбриональные стволовые клетки* (выделяют из эмбрионов на стадии бластоцисты — очень ранней стадии развития, когда еще нет ни тканей, ни закладок органов) и *региональные стволовые клетки* (выделяют из органов



*Леонид Иванович Корочкин, доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией нейрогенетики и генетики развития Института биологии гена РАН и заведующий лабораторией молекулярной биологии Института биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН. Область научных интересов — общая генетика, нейрогенетика, генетика развития.*

взрослых особей или из органов эмбрионов более поздних стадий), которые сохраняют свойства эмбриональных клеток, о чем свидетельствуют обнаруженные в них эмбриональные белковые маркеры (рис.1).

Стволовые клетки можно выделять и растить в культуре ткани. При этом образуются шарообразные клеточные ассоциаты: скопления эмбриональных клеток называют эмбриоидными телами, а нейральных — нейросферами.

Способность давать множество разнообразных клеточных типов (плюрипотентность) делает стволовые клетки важнейшим восстановительным резервом в организме, который используется для замещения дефектов, возникающих в силу тех или иных обстоятельств.

Особое удивление биологов вызвало присутствие стволовых клеток в центральной нервной системе. Как известно, сами нервные клетки утрачивают способность к размножению уже на самой ранней стадии нейральной дифференцировки (стадии нейробласта). А стволовые клетки в ответ на различные поражения нервной ткани начинают делиться с последующей дифференцировкой в нервные и глиальные клетки. Изолированные нейральные стволовые клетки могут превращаться и в другие производные.

Обнаружить стволовые клетки можно с помощью специальных методов. Дело в том, что в «нативных» стволовых клетках и их производных синтезируются специфические белки, которые выявляют-

© Корочкин Л.И., 2005



Александр Александрович Максимов.



Александр Яковлевич Фриденштейн.

## Модель для анализа роли генов в дифференцировке

Способность любых стволовых клеток давать разные клеточные типы делает их весьма удобной системой для изучения молекулярно-генетических событий, обуславливающих специфическую дифференцировку клеток. Действительно, изолировав стволовые клетки в чистом виде, можно затем анализировать функции генов, ответственных за последовательные этапы дифференцировки.

Оказалось, в частности, что время последовательного включения генов, контролирующих развитие, совпадает и в постимплантационных зародышах, и в культуре эмбрионидных тел. Значит, стволовые клетки — действительно хорошая экспериментальная модель для изучения молекулярных механизмов клеточной специализации.

Анализ культур стволовых клеток с помощью молекулярно-генетического микроэлектронного метода, оценивающего количество функционально активных генов, показал, что в одном клоне мезенхимных стволовых клеток синтезируется по крайней мере 1200 матричных РНК (мРНК). В разных стволовых клетках присутствует сходный набор заранее синтезированных мРНК (копий многих генов), но есть и специфические РНК. При этом удалось выяснить, что в стромальных стволовых клетках взрослой гематогенной (кровообразующей) ткани содержится практически весь набор мРНК, которые функционируют в зародышевых листках и на стадии органогенеза. Идентифицированы также мРНК ключевых генов, регулирую-

с с помощью иммуногистохимической техники. На каждый белок получают антитела, которые метят флюоресцирующим красителем. Такой реагент выявляет белки, присутствующие в стволовых клетках на разных стадиях развития. Так, нейральные стволовые клетки содержат белок нестин (рис.2). Когда они вступают на путь специализации, в них появляется новый белок — виментин. Если клетки развиваются в нейральном направлении, то синтезируются соответствующие маркирующие белки — нейрофиламентные,  $\beta$ 3-тубулин, энолаза и др. Когда клетки специализируются как вспомогательные, глиальные, появляются другие маркеры, например глиальный фибриллярный кислый белок, белок S-100 и др.

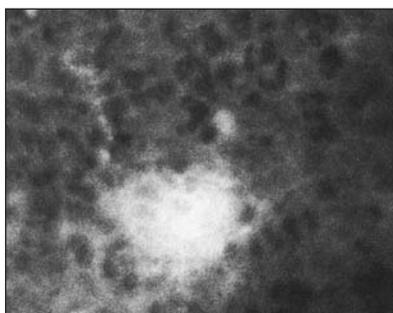


Рис.1. Островки клеток, сохранивших эмбриональные белки (светлые клетки, выявленные с помощью иммунофлюоресцентной техники), в печени взрослой мыши. Препарат получен в 1971 г. в лаборатории Л.И.Корочкина в Новосибирском институте цитологии и генетики СО АН СССР.

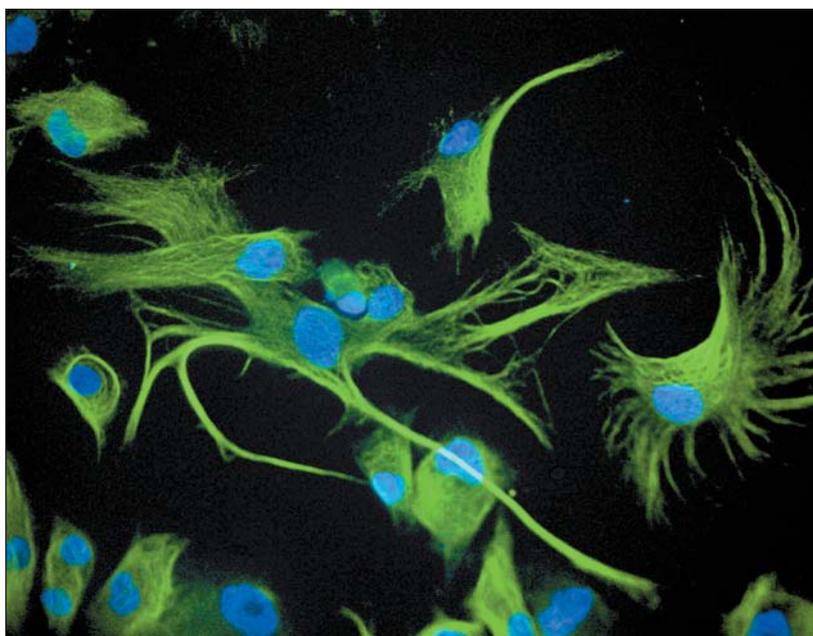


Рис.2. Культура стромальных стволовых клеток человека. Зеленым флюоресцирует цитоплазма, содержащая нестин, синим — ядерный материал.

щих созревание клеток всех зародышевых листков: мезенхимального и мезодермального происхождения, а также энто- и эктодермы. Большинство мРНК регуляторных генов присутствует уже в яйцеклетке и зародышевых клетках.

Следовательно, в стволовых клетках проявляется общий принцип онтогенеза — работа генов с «опережением», т.е. синтез тех мРНК, которые понадобятся на значительно более поздних стадиях развития.

## Гены-господа, проблема дифференцировки и стволовые клетки

Многочисленные данные, полученные в ходе изучения стволовых клеток, позволили уточнить организацию соответствующих генных сетей (в условиях целостного организма это иногда не так-то просто). В частности, можно выявить пути взаимодействия так называемых *генов-господ* и *генов-рабов*. Господами называют ключевые гены, от которых зависит специфика развития данной ткани или органа, рабами — каскады структурных генов (запускаемые генами-господами), обеспечивающих синтез тканеспецифических белков и соответственно формирование того или иного органа или ткани.

Использование стволовых клеток в биологии развития позволило подтвердить существование генов-господ, запускающих каскады генов, от которых зависит специализация *целых органов, зародышевых листков и отдельных типов клеток*. Эта универсальная закономерность присуща всем животным. Так, у дрозофилы есть ген *eyeless* (безглазости), который обуславливает развитие глаза. Если его заставить работать в необычном месте, то глаза могут появиться на брюхе, на лапках, на крыле и в любом другом месте (рис.3). Сходный ген *Pax6* есть и у млекопитающих. Введенный в геном дрозофилы, он дает тот же эффект, что и собственный ген хозяина. Все это свидетельствует об универсальности эффекта генов-господ.

Ген *pdf-1* выполняет роль триггера, запускающего развитие поджелудочной железы; ген *NOX-11* отвечает за развитие селезенки, ген *Crypto* — за развитие сердца, мутации гена *NOXD13* приводят к полидактилии верхних и нижних конечностей у человека. Известны гены-господа и для *отдельных зародышевых листков*. Так, мутация гена *casanova* блокирует развитие всей энтодермы, а генов *Brachyury* и *zeta-globin* — мезодермы.

Наконец, по сигналу соответствующих генов-господ формируются *специализированные ткани и типы клеток*. Например, ген *Wn17* инициирует созревание альвеолярного эпителия. В нашей лаборатории совместно с лабораторией В.Тарабы-

кина (университет Геттингена) открыта новая группа нейрогенов, необходимых для образования нейронов пятого-шестого слоев коры головного мозга.

Возможно, определенную регулирующую роль в дифференцировке стволовых клеток играют короткие повторяющиеся последовательности, микро- или минисателлитные. Так, О.В.Подгорная (Санкт-Петербург) обнаружила наличие белков, специфическое связывание которых с тандемными повторами определяет особенности трехмерной организации хроматина. Как известно, от этой организации зависит специфика работы генов. Значит, состояние системы повторяющихся последовательностей (их недорепликация, диминуция или гиперрепликация) может играть важную роль в дифференцировке стволовых клеток.

Сегодня очевидно, что индивидуальное развитие регулируется иерархически организованной системой генных ансамблей (сетей). Понять особенности такой регуляции помогают стволовые клетки. В связи с этим большой интерес представляет реконструкция органных структур *in vitro* на основе стволовых клеток. Так, М.Томоока с соавторами получили из стволовых нервных клеток структуры, подобные нервной трубке; сходные опыты с диссоциированными клетками гиппокампа поставил в Институте мозга РАМН И.В.Викторов. Предпринимаются также попытки выращивать клетки в специальных колонках для получения органоподобных структур и использования

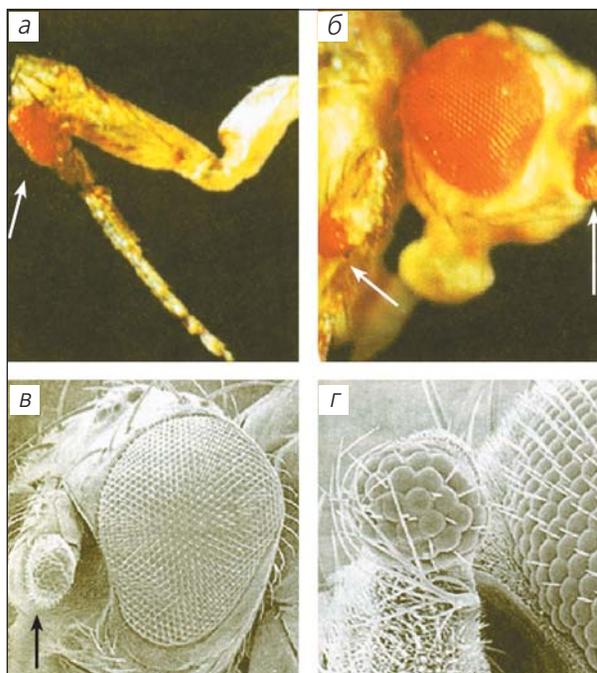


Рис.3. Развитие глаза в необычных местах на теле дрозофилы: а, б — на лапке, в, г — на антенне.

их в клинике. Такие исследования весьма перспективны и для решения фундаментальных задач, и для практического использования в генной и клеточной терапии.

## Стволовые и камбиальные клетки

Давно известно, что почти каждая ткань в организме имеет запас так называемых камбиальных клеток, которые пополняют ее клеточный состав, постоянно тающий от функциональных перегрузок или болезней. При столь пристальном внимании к стволовым клеткам немудрено, что камбиальные клетки преданы забвению. О них вообще как-то стали забывать. А между тем камбиальные клетки — непосредственный участник восстановительных процессов в тканях. Наглядный тому пример — клетки росткового слоя кожи, пополняющие постоянно расходуемый запас зрелых, уже не делящихся клеток кожного покрова. Более того, до открытия стволовых клеток речь шла только о таком способе репарации. В нервной ткани камбиальных клеток, способных размножаться, нет (о глии речь не идет). Но там сохраняется резерв молодых клеток — нейробластов, которые благодаря своей дифференцировке восполняют различные дефекты, сохраняя тем самым функциональную дееспособность соответствующего отдела мозга или периферической нервной системы.

Каковы же взаимоотношения стволовых и камбиальных клеток? Возможны ли их взаимопревращения, может ли региональная стволовая или прогениторная клетка (клетка-предшественник) дать начало камбиальной и наоборот, происходит ли этот процесс в организме, каково его значение для нормального течения восстановительных процессов и каков (если он существует) его молекулярно-генетический механизм? Решение этих вопросов имеет важное не только фундаментальное, но и практическое значение. Изучение стволовых клеток в разных экспериментальных условиях, бесспорно, поможет найти ответы и позволит представить в новом свете тонкие механизмы восстановительных процессов, протекающих в организме. Такие работы уже начаты, в частности на стволовых клетках эпителиального покрова кожи. Результаты противоречивы и дают повод для дискуссий.

При этом следует учитывать, что в самую начальную фазу дифференцировки с разной степенью эффективности включается несколько программ, и судьба клеток еще однозначно не решена. Например, в развивающемся нейробласте, дифференцирующемся в катехоламинэргическом направлении, синтезируются не только мРНК для компонентов катехоламинэргической системы, но и мРНК для компонентов холинэргической системы. Если в определенный момент развития

сменить катехоламинэргическую мишень, иннервируемую данной клеткой, на холинэргическую, то ранее более интенсивный синтез «катехоламинэргических» РНК начнет тормозиться и возобладает синтез «холинэргических» РНК. В результате произойдет как бы перепрограммирование клетки на новый путь развития.

Стволовые клетки, встречающиеся в шиповатом слое эпидермиса кожи, чьи клетки уже не делятся и активно специализируются, как раз и могут быть «мигрантами» из очага стволовых клеток. Мне доводилось встречать такие клетки в дифференцирующейся автономной нервной системе эмбрионов человека. Иными словами, ситуация с «превращениями» стволовых клеток и их взаимоотношениями с камбиальными клетками далеко не так проста, как это может показаться на первый взгляд.

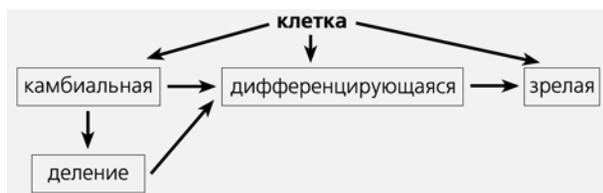
## Изменились ли представления о клеточной дифференцировке с открытием стволовых клеток?

Вопреки утверждению некоторых авторов — пока нет. Во-первых, дифференцировка любых стволовых клеток происходит по законам, сформулированным для клеточной дифференцировки вообще. В этом и заключается ценность стволовых клеток как модельной системы. Во-вторых, клетки, в том числе и стволовые, начав дифференцировку, утрачивают способность к делению, по крайней мере на конечных стадиях. И, наконец, изучение поведения стволовых клеток не поколебало представлений о стабильности и необратимости клеточной дифференцировки: из фиброцита, плазматической или из париетальной клетки желудка никогда не получится нейрон, а из нейрона не возникнет кожная клетка. Тезис, что стволовая клетка способна к разного рода трансформациям, никак не нарушает это правило, а лишь демонстрирует мультипотентность, свойственную ранним эмбриональным клеткам. На стадии терминальной дифференцировки клетка обретает стабильное состояние и теряет способность к делению и разного рода превращениям.

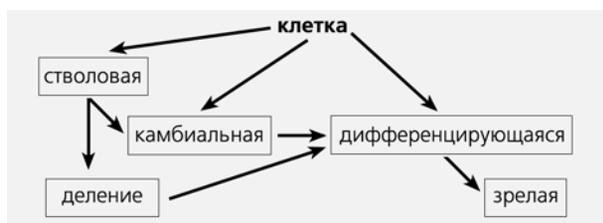
Что же нового дало открытие стволовых клеток во взрослом организме? Оно изменило наши представления об организации тканей и о механизмах протекающих в них восстановительных процессов. Был сделан новый и очень важный вывод: эмбриональные клетки с высоким потенциалом к развитию сохраняются и во взрослом организме. Более того, они составляют важнейшее звено в цепи репаративных процессов, о чем ранее не подозревали. Так, описывая в 70-е годы эмбриональные клетки в печени взрослой мыши (в книге «Взаимодействие генов в развитии». М., 1977), я не предполагал, что они обладают столь

высоким потенциалом к развитию и принимают активное участие в репарации.

Открытие стволовых клеток повлекло необходимость замены существовавшей до сих пор схемы репаративных процессов в тканях:



на новую схему, отражающую существование стволовых клеток во взрослом организме:



В ходе клеточного деления из стволовых клеток возникают материнская и дочерняя клетки. Материнские используются для самоподдержания популяции, а дочерние либо «выходят» в камбиальную клетку, либо непосредственно в дифференцировку. Стволовая клетка сохраняет свойства ранних эмбриональных клеток — плюрипотентность, а камбиальная эту способность утрачивает и производит лишь региональные структуры.

Таким образом, в изучении восстановительных процессов сделан большой шаг вперед. Но предстоит еще очень много сделать, чтобы познать тонкие механизмы поведения стволовых клеток и найти возможность использовать эти знания в клинической практике.

Ситуация в данном случае непростая. Она осложняется еще и присутствием маркеров, которые специфически «метят» стволовые клетки и их производные. В частности, в базальном, ростовом слое эпителия кожи имеется стволовых клеток 10%, а белок β1-интегрин, специфический маркер этих клеток, содержится у 40% клеток этого слоя. В связи с этим сообщения о взаимопревращениях и трансформациях кожных (да и других тоже!) стволовых клеток требуют серьезной экспериментальной проверки.

## Трансдетерминация и трансдифференцировка

В связи с необычайно широким потенциалом стволовых клеток возникает путаница с понятиями трансдетерминации и трансдифференцировки. В результате принятые в гистологии и эмбриологии терминологические правила размываются

и возникает почва для бесплодных дискуссий и спекуляций.

Действительно, если трансформацию стволовых клеток в разных направлениях обозначить как трансдифференцировку (а некоторые авторы позволяют себе такую вольность), будут необоснованно разрушены представления о стабильности и необратимости дифференцировки, что ведет к невообразимой путанице. На самом деле нет никаких оснований ниспровергать существующие взгляды. Совершенно очевидно, что клетка, потерявшая способность к делению и вступившая на определенный путь развития (например, нейробласта), не может дать начало другим производным. Добиться репрограммирования ядра не так то просто. Даже его пересадка в другую цитоплазму (в частности, при получении гетерокарионов или в опытах с пересадкой ядер), и то не всегда успешна.

Зарегистрированные случаи трансформации стволовых клеток относятся к другому событию — трансдетерминации. Процесс этот давно известен в экспериментальной эмбриологии благодаря работам выдающегося швейцарского эмбриолога и генетика Эрнста Хадорна. Описанное в ряде работ «превращение» глиальной клетки в нейрон объясняется, видимо, гетерогенностью популяции глиоцитов, т.е. некоторые из них могут сохранять свойства камбиальности, а порою и «стволовости». В таком случае обнаруженный феномен удивления не вызывает. Например, показано, что клетки так называемой радиальной глии, которая на ранних этапах онтогенеза служит субстратом для миграции дифференцирующихся нервных клеток, становятся нейронами. Однако потом выяснилось, что на самом деле популяция клеток радиальной глии *гетерогенна*: часть клеток содержит нейральные маркеры (они впоследствии становятся нервными), а часть — глиальные (такие и становятся глиальными). Иными словами, несмотря на то, что все клетки радиальной глии вначале выполняют одну и ту же временную функцию, они уже детерминированы к развитию в разных направлениях. Значит, обнаруженный феномен их трансформации — не трансдифференцировка, а *трансдетерминация*.

## Как стволовые клетки поддерживают свою «молодость»

Одна из важнейших общебиологических проблем, решить которую помогут стволовые клетки, — *генетический механизм поддержания детерминированного состояния в ходе деления клеток и выхода их в дифференцировку*. Всерьез ее поставил еще Э.Хадорн в 50-е годы прошлого века, но до сих пор она не решена. Недавно удалось пролить некоторый свет на молекулярно-генетические события при переходе клетки из де-

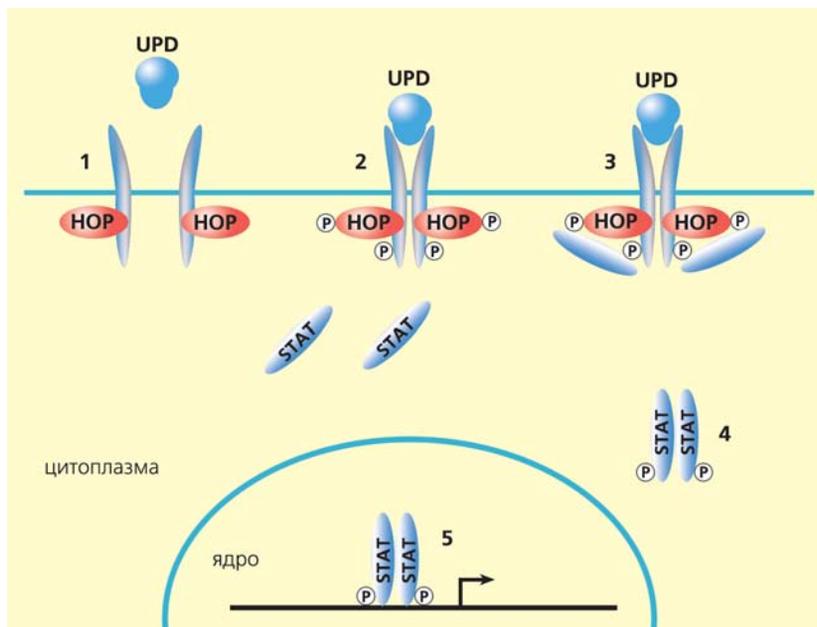


Рис.4. Схема поддержания «стволовости» клеток в семенниках дрозофилы по данным Натальи Тулиной. 1, 2 и 3 — стадии взаимодействия с комплексом мембранных белков, 4 — активация сигнального белка STAT, 5 — активация генов стволовой клетки.

терминированного состояния в дифференцировку. Наша соотечественница Наталья Тулина, работающая в США, заметила, что для такого перехода очень важно взаимоотношение стволовых клеток с клетками-«нишами», к которым они «прилежат». Так, в семенниках дрозофилы соматические клетки «хаба», формирующие нишу стволовых клеток, содержат белок UPD, который, в свою очередь, активирует так называемый сигнальный каскад Jak-STAT. Усиленный синтез UPD в клетках апикального района семенников приводит к росту и репродуктивным, и стволовых клеток семенника. Для поддержания обоих типов клеток необходимо участие компонентов Jak-STAT сигнального каскада, киназы HOP и транскрипционного активатора STAT92E. Активацию всего комплекса белков запускает UPD, который клетки-«ниши» передают стволовым клеткам. Разрыв связи между ними обуславливает начало дифференцировки стволовых клеток (рис.4). Насколько универсален этот механизм, предстоит еще выяснить.

## Проблемы генной и клеточной терапии

Плюри- и мультипотентность стволовых клеток делает их идеальным материалом для трансплантационных методов клеточной и генной терапии. Наряду с региональными стволовыми клетками, которые при повреждении тканей соответствующего органа мигрируют к зоне повреждения, делятся и дифференцируются, образуя в этом месте новую ткань, существует и «центральный склад запчастей» — *стромальные клетки костного мозга*. Эти клетки универсаль-

ны. Они, видимо, поступают с кровотоком в поврежденный орган или ткань и там под влиянием различных сигнальных веществ продуцируют взамен погибших нужные клетки (хотя полученные многочисленные данные такого рода нередко критикуются и требуют дополнительной проверки).

В частности, установлено, что инъекция экспериментальным животным стромальных клеток костного мозга в зону повреждения сердечной мышцы устраняет явления постинфарктной сердечной недостаточности. А стромальные клетки, введенные свиньям с экспериментальным инфарктом, уже через восемь недель полностью перерождаются в клетки сердечной мышцы, восстанавливая ее функцию. Результаты такого лечения инфаркта впечатляющи. По данным Американского кардиологического общества, за 2000 г. у крыс с искусственно вызванным инфарктом 90% стромальных клеток костного мозга, введенных в область сердца, трансформировались в клетки сердечной мышцы.

Японские биологи в лабораторных условиях получили клетки сердечной мышцы из стромальных клеток костного мозга мышей. В культуру стромальных клеток добавляли 5-азацитидин, и они начинали превращаться в клетки сердечной мышцы. Такая клеточная терапия весьма перспективна для восстановления сердечной мышцы после инфаркта, поскольку для нее используются собственные стромальные клетки. Они не отторгаются, и, кроме того, при введении взрослых стволовых клеток исключена вероятность их злокачественного перерождения.

Широко применяется терапия стромальными клетками в ортопедии. Это связано с существова-

нием особых белков, так называемых BMP (костные морфогенетические белки), которые индуцируют дифференцировку стромальных клеток в остеобласты (клетки костной ткани). Клинические испытания в этом направлении дали многообещающие результаты. Например, в США 91-летней пациентке с незаживающим в течение 13 лет переломом вживили специальную коллагеновую пластинку с нанесенными на нее BMP. Поступающие в зону перелома стромальные клетки «притягивались» к пластинке и под влиянием BMP превращались в остеобласты. Через восемь месяцев после установки такой пластинки сломанная кость у больной восстановилась. Сейчас в США проходят испытания и скоро начнут применяться в клинике специальные пористые губки, наполненные одновременно и стромальными клетками и нужными индукторами, направляющими развитие клеток по требуемому пути.

Большое значение придается стволовым клеткам (в частности, стромальным) при лечении различных нейродегенеративных и неврологических заболеваний — паркинсонизма, болезни Альцгеймера, хореи Гентингтона, мозжечковых атаксий, рассеянного склероза и др. Группа неврологов из Американского национального института неврологических заболеваний и Стэнфордского университета обнаружила, что стромальные стволовые клетки костного мозга могут дифференцироваться в нейральном направлении. Значит, костный мозг человека можно использовать как источник стволовых клеток для восстановления поврежденных тканей в головном мозгу. При этом, видимо, возможен не только заместительный, но и трофический эффект трансплантата (это предположение основано на том, что положительное действие трансплантата проявляется через две недели, а эффект замещения возможен лишь спустя три месяца). Следовательно, пациент может стать собственным донором, что предотвратит реакцию иммунологической несовместимости тканей.

Группа американских ученых под руководством Е.Мизей показала, что стволовые клетки, куда бы их ни имплантировали, способны достигать поврежденного места, в частности мозга, и обеспечивать там восстановительные процессы. Так, после внутривенного введения взрослым мышам стромальных стволовых клеток во многих областях мозга (включая неокортекс, гиппокамп, таламус, ствол мозга и мозжечок) были обнаружены различные нейральные производные. Впрочем, литературные данные по этой проблеме весьма противоречивы. Однако если к культуре стромальных стволовых клеток добавить ретиноевую кислоту, в них обнаруживаются нейральные маркеры (рис.5). Такие клеточные культуры харьковские хирурги небезуспешно применяли для лечения болезни Паркинсона, вводя их в область полосатого тела (рис.6). Весьма перспективны также по-

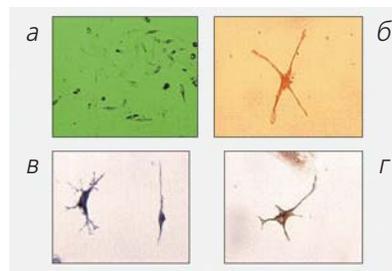


Рис.5. Дифференцировка нервноклеточных элементов в культуре стромальных стволовых клеток человека под влиянием ретиноевой кислоты: а — исходная культура, б — окраска на нейрофиламенты, в, г — окраска на  $\beta 3$ -тубулин.

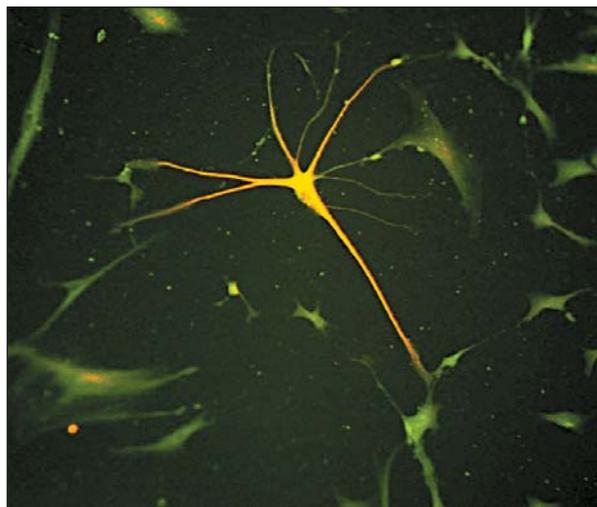
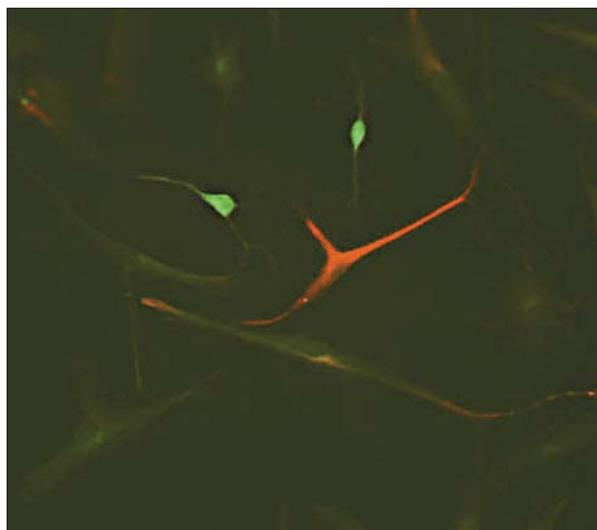


Рис.6. Иммунофлюоресцентная окраска на нейроспецифические маркеры клеток, дифференцирующихся в нейральном направлении, в культуре стромальных стволовых клеток костного мозга человека. Такие клетки использовали харьковские хирурги для лечения болезни Паркинсона.

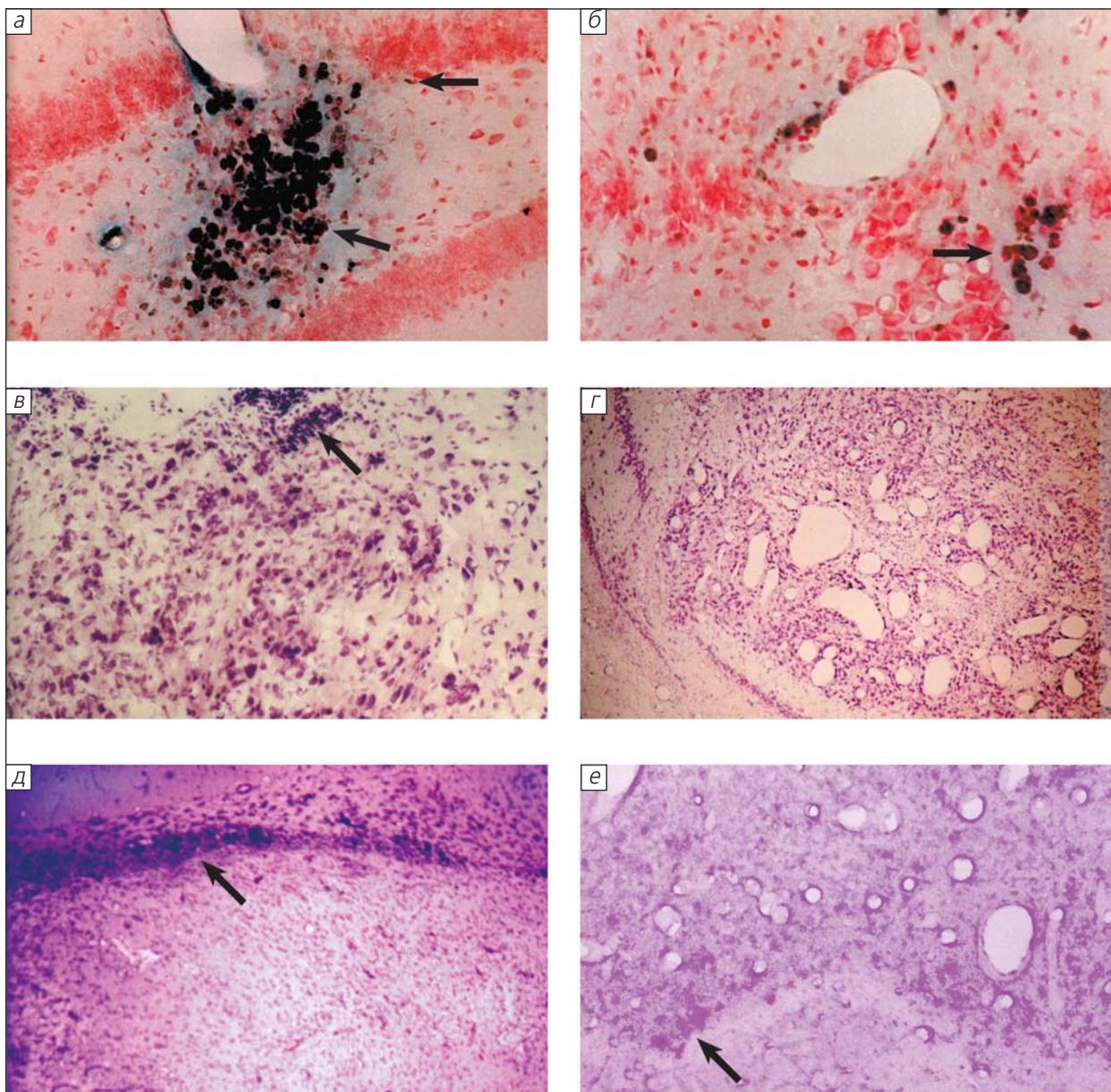


Рис.7. Трансплантация клеток дрозофилы в мозг крысы (ксенотрансплантация). а, б — меченые клетки дрозофилы (стрелки) в мозге крысы; в — аллотрансплантат эмбриональной нервной ткани крысы в сочетании с ксенотрансплантатом (стрелка); г — стимуляция роста кровеносных сосудов ксенотрансплантатом; д — рубцовая ткань (стрелка) на границе аллотрансплантат/ткань хозяина; е — добавление ксенотрансплантата к аллотрансплантату блокирует образование рубца.

пытки использовать стволовые клетки пуповины и плаценты в клинике. В целом для успешной пересадки стволовых клеток, независимо от области применения, очень важно научиться сохранять их жизнеспособность. Ее можно повысить, если в геном пересаживаемых нейронов ввести гены ростовых нейротрофических факторов, которые служат защитой от апоптоза. Такие попытки ведутся в различных лабораториях США и Европы.

Больших успехов в изучении и практическом использовании стволовых клеток добились и отечественные исследователи. Специалисты из Института акушерства, гинекологии и перинатологии РАМН выделили региональные нейральные стволовые клетки и впервые получили их подробную иммуногистохимическую характеристику, в том числе на проточном флюориметре. В опытах с пересадкой стволовых нейральных клеток

человека в мозг крыс показана их приживляемость, миграция на достаточно большие расстояния (несколько миллиметров) и способность к дифференцировке, которая в значительной степени определялась микроокружением трансплантата. Например, при пересадке нейральных клеток человека в область мозжечка крысы, где расположены клетки Пуркинье, они развиваются в направлении именно этого типа клеток. Об этом свидетельствует синтез в них белка калбиндина, специфического продукта клеток Пуркинье.

Отечественные биологи (Институт биологии гена РАН, Харьковский институт криобиологии и фирма «Виола») впервые разработали оригинальную методику индукции в культуре: стромальные стволовые клетки дифференцировались в направлении клеток, похожих на клетки островков Лангерганса, содержащих инсулин. Наличие этого белка в них определяли с помощью современных методов молекулярной биологии и цитологии. Самое интересное, что в культуре эти клетки формируют структуры, напоминающие островки Лангерганса. Не исключено, что в далекой перспективе они станут незаменимы для лечения диабета.

Интересную совместную работу провели сотрудники трех академических научных учреждений — Института биологии гена, Института биологии развития и Института молекулярной биологии. При пересадке кусочков эмбриональной нервной ткани дрозофилы в мозг крысы заметили, что вокруг трансплантата не формируется рубцовая ткань. Оставалось выяснить, за счет чего это происходит. С помощью достаточно тонких экспериментов удалось установить, что образованию рубца препятствуют белки теплового шока, которые синтезируются в клетках дрозофилы при температуре тела млекопитающих. Значит, добав-

ление ксенотрансплантата (ткани дрозофилы) к эмбриональной нервной ткани крысы спасает аллотрансплантат от нашествия рубцовой ткани (рис.7). Так появилась возможность использовать белки теплового шока в клеточной и генной терапии различных заболеваний.

Подобные исследования позволят создавать генно-инженерные конструкции для трансформации стволовых клеток, предназначенных для пересадки. Эти структуры помогут лучшему приживлению трансплантата, повысят его жизнеспособность и специализацию составляющих его клеток.

Необходимо сравнить и внимательно проанализировать результаты трансплантации стволовых клеток в виде цельных или диссоциированных на клетки нейросфер и разработать соответствующий протокол для клинического использования.

*Впрочем, нельзя не сказать о том, что из достаточно авторитетных лабораторий раздаются весьма скептические отклики на такие работы и предупреждения о необходимости осторожно интерпретировать полученные данные.* Приводятся факты, свидетельствующие, что стволовые клетки не дифференцируются после их трансплантации, а сливаются со специализированными клетками хозяина, создавая видимость собственной дифференцировки. Некоторые авторы считают, что стромальные клетки костного мозга способны превращаться только в клетки хряща и кости, а при их инъекции реципиенту оседают там, откуда «пришли», т.е. в костном мозгу, в связи с чем перспективы их использования в клеточной терапии ставятся под сомнение. Очевидно, необходимы дополнительные серьезные исследования для ответа на поставленные вопросы и выдвинутые возражения. ■

## Литература

1. Корочкин Л.И. Биология индивидуального развития. М., 2002.
2. Ретин В.С., Ржанинова А.А., Шаменков Д.А. Эмбриональные стволовые клетки: фундаментальная биология и медицина. М., 2002.
3. Ретин В.С., Сухих Г.Т. Медицинская клеточная биология. М., 1998.
4. Онтогенез. 2003. Т.34. №3. Выпуск целиком посвящен проблеме стволовых клеток.

# Серебристым облакам 120 лет?

П.А.Далин, Н.Н.Перцев, В.А.Ромейко

**К**ак и в других сферах, в науке принято отмечать юбилеи. Они, как правило, привязаны к круглым датам выдающихся ученых, учреждению организаций, времени великих открытий или изобретений. Юбилей, о котором пойдет речь, необычный. Похоже, что 120 лет назад было сделано открытие природного явления, которого раньше просто не было.

Самые высокие облака в земной атмосфере — серебристые — образуются на уровне 80—85 км. Они появляются только ночью со второй половины мая до середины августа. Их можно наблюдать в Северном и Южном полушариях, но в достаточно ограниченном широтном поясе от 50° до 70°. Свое выразительное название облака получили не случайно: их цвет действительно серебристый, и они могут быть легко различимы на фоне сумеречного сегмента неба. По форме серебристые облака напоминают перистые. Из-за того что они находятся очень высоко над землей, эти облака рассеивают солнечный свет и остаются видимыми в течение ночи, тогда как все другие типы облаков имеют темно-серый цвет (или совсем незаметны), поскольку не освещаются Солнцем в ночное время.

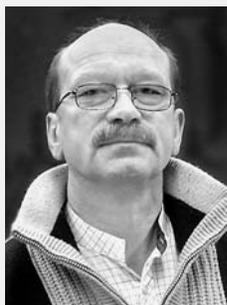
© Далин П.А., Перцев Н.Н.,  
Ромейко В.А., 2005



**Петр Александрович Далин**, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник Института космических исследований РАН, в настоящее время работает в Институте космической физики (Кируна, Швеция). Занимается исследованием полярной мезосферы и волновых процессов средней атмосферы.



**Николай Николаевич Перцев**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории физики верхней атмосферы Института физики атмосферы им.А.М.Обухова РАН. Специалист в области анализа наблюдений и моделирования процессов в верхних слоях атмосферы.



**Виталий Александрович Ромейко**, заведующий Звенигородской астрономической обсерваторией отдела астрономии и космонавтики Московского городского Дворца творчества на Воробьевых горах. Астроном и педагог, более 35 лет организует и проводит регулярные наблюдения серебристых облаков. Один из ведущих специалистов в этой области в нашей стране.

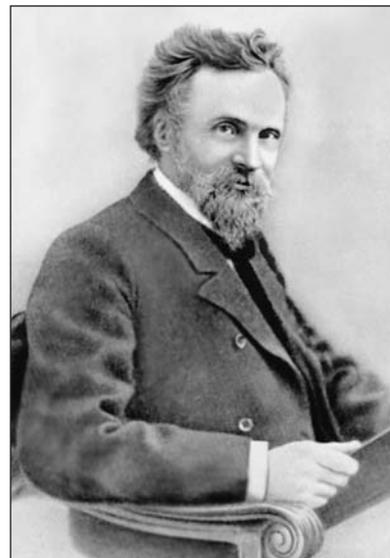
Международное их название Noctilucent clouds (ночные светящиеся облака), что наиболее точно отвечает их внешнему виду. В России их называют более романтично — серебристые.

## Открытие и первые достижения

Ночные светящиеся облака были обнаружены астрономами совершенно неожиданно и повсеместно на средних широтах целого ряда стран Европы. Так, 8 июня 1885 г. их наблюдал в Германии Т.Бакгауз, 10 июня в Чехии В.Ласка, начиная с 12 июня в России В.К.Цераский, 23 июня в Эстонии Э.Гартвиг, 23, 24, 30 июня и во многие ночи июля опять в Германии О.Йессе. Повсеместное появление ночных светящихся облаков во многом удивило ученых конца XIX в. Казалось странным, что при развитой европейской наблюдательной сети (а в то время в Европе и России работали десятки астрономических обсерваторий и сотни метеорологических станций) о них до этого времени ничего не знали. Правда, существовали отдельные наблюдения светящихся облаков в разное время, но описаний, которые однозначно указывали на типичные для серебристых свойства и морфологические формы, до 1885 г. не существовало [1]. Для сравнения можно взять другое ночное явление, вполне сопоставимое с серебристыми облаками по яркости и частоте появления на средних широтах, — полярные сияния, каталоги которых насчитывают более десяти достаточно подробных описаний, сделанных еще до нашей эры, и сотни — в средние века.

Первооткрыватели серебристых облаков независимо друг от друга дают их четкие характеристики. Так, приват-доцент Московского университета астроном Цераский отмечает: «Эти облака, отличаясь по виду от всех остальных, особенно за-

мечательны своим блеском; они ярко светились в ночном небе белым и серебристым светом, переходящим иногда в голубой, с золотисто-желтым оттенком возле горизонта. Случалось иногда, что здания были заметно освещены их светом и можно было даже различать далекие предметы. Иногда это были отдельные маленькие облачка, иногда они образовывали плотный слой или походили то на волны, то на морщинистую поверхность песчаной гряды. <...> Но наиболее характерной формой были узкие полосы, простиравшиеся то по прямой линии, то с изгибами, напоминая изрезанный берег с бухтами и заливами... Мне неоднократно возражали, что эти облака, возможно, существовали и до 1885 г., но что их не замечали. <...> С 1875 г. я наблюдаю с помощью фотометра и считаю эти наблюдения трудными... исключительно благодаря особому вниманию, с которым нужно следить за малейшим облачком или тончайшей дымкой. Мне было бы довольно трудно не заметить явления, которое порою охватывает не более не менее как весь небесный свод» [2]. Его немецкий коллега О.Йессе (именно он предложил термин «серебристые облака») специально отмечал, что летом 1884 г. неод-



В.К.Цераский (1849—1925), астроном, первооткрыватель серебристых облаков в России.

нократно наблюдал красивые пурпурные зори и проводил много связанных с этим измерений, поэтому серебристые облака не могли бы ускользнуть от его внимания, если бы были видны тогда [3].

Вот некоторые начальные этапы изучения серебристых облаков.

В 1885 г. в России Цераский и А.А.Белопольский методом триангуляции определили вы-



Один из первых снимков серебристых облаков, полученный немецким астрономом О.Йессе в 1889 г.



Так выглядела в конце XIX в. Московская обсерватория на Пресне — первое учреждение в России, заинтересовавшееся серебристыми облаками. Работа неизвестного художника начала XX в.



Н.И.Гришин (1925—1998), советский исследователь серебристых облаков. Фото 1955 г.

соту серебристых облаков, равную 75 км, а через два года Йессе получает их первые фотографии.

В декабре 1888 г. Штубенрах впервые наблюдает те же облака в Южном полушарии (в Чили), а через год на основе семи се-

рий фотограмметрических измерений, проведенных с точностью до 100—300 м, Йессе определяет высоты серебристых облаков, составившие в среднем 82 км (от 80.7 до 88.5 км).

30 июня 1908 г. более чем в 40 пунктах Западной Европы

и России наблюдают аномально яркие серебристые облака, связанные, как оказалось впоследствии, со взрывом Тунгусского метеорита.

В 1934 г. канадский ученый Е.Вестин оставил значительный по объему (за 48 лет) каталог появлений серебристых облаков, наблюдавшихся в Западной Европе, а также дал статистический анализ их связи с солнечной активностью, метеорными потоками, появлениями комет и вулканическими извержениями [4].

В 1951 г. известный советский исследователь Н.И.Гришин получил серию спектрограмм серебристых облаков, а через 10 лет, в 1961 г., астрофизик И.С.Астапович выпустил сводный каталог этих наблюдений в России и СССР за период с 1885 по 1944 г. [5].

Международный уровень исследования ночных облаков начался с Международного геофизического года (МГГ, 1957—1958). В наблюдениях были задействованы сотни метеостанций по всему миру, большой круг ученых и отдельные коллективы любителей астрономии, в СССР эту работу координировала специальная группа. К началу МГГ Гришин издал подробную инструкцию [6], содержащую рекомендации по организации наблюдений за серебристыми облаками и единые правила ведения журналов наблюдений (второе ее издание было переведено на французский и принято в качестве основного руководящего документа во всем мире). По результатам МГГ были собраны ценные статистические данные, включающие, как правило, время начала и конца появления серебристых облаков, их морфологический тип и оценку видимой яркости по глазомерной шкале. В отдельных случаях наблюдения сопровождались теодолитной или фотосъемкой.

Начиная с 1957 г. серьезную роль в организации исследований серебристых облаков сыграло Всесоюзное астрономо-ге-

одезическое общество (ВАГО) при АН СССР. Благодаря усилиям работавших в нем десятков групп энтузиастов удалось охватить систематическими наблюдениями в летний период практически всю территорию страны в средних широтах. В период с 1972 по 1989 г. в СССР издается три каталога наблюдений. Упорядоченный сбор информации был также неплохо налажен в Великобритании, Дании, Германии, США, Канаде и некоторых других странах, где данные обобщались и составлялись каталоги наблюдений.

Кроме сводных каталогов, содержащих записи разного качества, т.е. присланных наблюдателями из разных пунктов, большой интерес для дальнейшего анализа представляют локальные базы данных, составленные группами наблюдателей, ведущих многолетние систематические наблюдения по одной методике. Одна из самых долговременных качественных баз данных — московская, которая включает однородные систематические наблюдения с 1962 г. по настоящее время [7, 8].

Главная цель анализа каталогов и баз данных — поиск статистических закономерностей в частоте появления и свойствах серебристых облаков. Так были получены представления о сезонном ходе, зависимости частоты появления от широты и угла погружения Солнца под горизонт, от лунной фазы, от планетарно-волновой активности, а также декадная (квазидесятилетняя) цикличность.

## Гипотезы и теории образования

По мере накопления фактов развивались и теоретические представления о новом явлении. Немецкий физик Ф.Кольрауш, пытаясь объяснить природу появления этих необычных облаков в 1885—1892 гг., связывает их с крупнейшим в истории человечества извержением вулка-

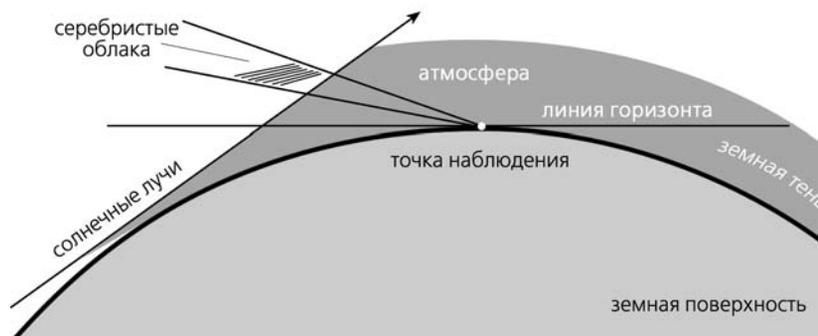


Схема освещения Солнцем серебристых облаков. Облака становятся видимыми, когда Солнце опускается ниже горизонта наблюдателя на 6—18°.

на Кракатау 27 августа 1883 г. Идея Кольрауша предельно проста — вулканическая пыль и водяной пар, выброшенные на большие высоты, замерзают, образуя туманные или ледяные облака. Йессе, поддерживая эту гипотезу в целом, в свою очередь высказал мысль об ином составе облаков, имея в виду кристаллы льда, состоящие из легких вулканических газов, таких как, например, водород.

Альтернативная гипотеза была выдвинута в 1925—1926 гг. исследователем метеоритов Л.А.Куликом и метеорологом Л.Апостоловым. Ее основу составляло предположение о том, что серебристые облака состоят из маленьких частичек метеорной пыли, образующейся при сгорании многочисленных метеоров, вторгающихся в земную атмосферу. Действительно, атмосфера ежедневно пополняется метеорным веществом массой около 100 т.

Однако с середины 1950-х годов эта гипотеза стала уступать конденсационной (или ледяной) теории, утвердившейся и признанной исследователями в настоящее время. Ее основы заложил советский ученый И.А.Хвостиков [9]. В отличие от метеорной, эта гипотеза объясняла, почему серебристые облака наблюдаются из года в год не-

изменно на одних и тех же высотах (80—85 км) и видны только в средних и высоких широтах (50—70°), причем только летом.

По ледяной теории, серебристые облака состоят из очень маленьких ледяных частичек размером в тысячу раз тоньше человеческого волоса! Такое же строение имеют обычные перистые облака, часто наблюдаемые в дневное время на фоне голубого неба. Ледяные кристаллы серебристых облаков рассеивают солнечный свет и при определенном угле падения становятся видимыми с поверхности Земли на фоне темного сумеречного сегмента как тонкие серебристо-белые струи и полосы, и (или) как однородная серебристая пелена, заполняющая пространство между основными формами этих облаков.

Для образования ледяных кристалликов на высотах 80—85 км необходимы три решающих фактора: достаточное количество водяного пара, очень низкая температура, наличие мельчайших частиц, на которых конденсируются пары воды, превращаясь в лед.

Одновременно три эти условия встречаются нечасто. Впервые, влажность в мезопаузе (области температурного минимума), расположенной на несколько километров выше слоя,

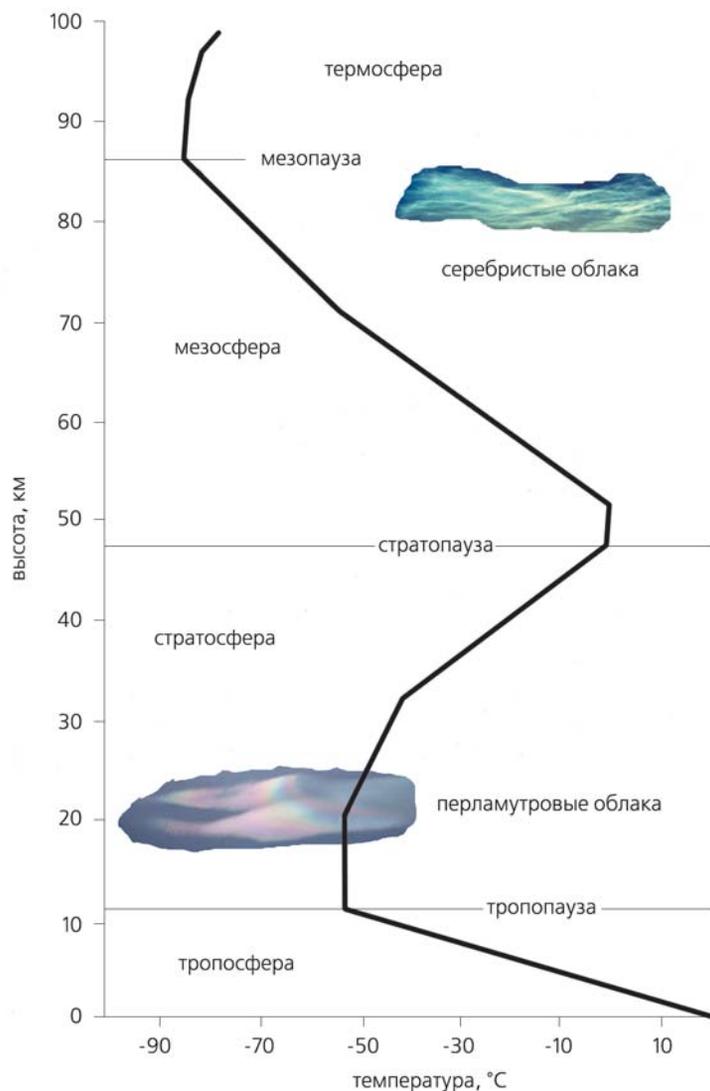


Схема строения земной атмосферы (профиль температуры). Показаны области образования перламутровых и серебристых облаков.

в котором наблюдаются серебристые облака, ничтожно мала: на один миллион молекул воздуха приходится всего лишь несколько молекул  $H_2O$  (в среднем четыре), что в 100 млн раз меньше влажности воздуха в пустыне Сахара! Водяные пары поступают в мезопаузу главным образом при медленном подъеме (диффузии) влаги из нижнего слоя земной атмосферы. Процесс этот может растянуться чуть ли не на годы. Второй источник — разрушение молекул метана в мезосфере под воздей-

ствием ультрафиолетового излучения Солнца, в результате чего после взаимодействия с другими компонентами воздуха образуются молекулы воды. С другой стороны, эти молекулы распадаются в мезосфере при освещении их солнечным светом. Время жизни водяных паров в верхней мезосфере (высота 75–90 км) составляет всего лишь 3–10 дней, и для того, чтобы компенсировать их распад, необходим постоянный приток влаги и (или) метана из нижних слоев атмосферы.

Далее, для формирования ледяных кристалликов требуется охлаждение мезопаузы до очень низких температур (менее  $-120^\circ C$ !), при которых уменьшается давление насыщенного водяного пара над льдом. Когда парциальное давление водяного пара превосходит давление насыщенного пара, возможна кристаллизация пара в ледяную частицу. Поскольку начало кристаллизации зависит также от количества ядер кристаллизации, мы можем частично реабилитировать метеорную гипотезу (метеоры — поставщики аэрозольных частиц и ионов, т.е. ядер кристаллизации). По некоторым данным, после сильных метеорных потоков вероятность появления серебристых облаков возрастает.

Когда же происходит охлаждение мезопаузы до требуемых низких температур? Мезосфера и мезопауза одного полушария (скажем, Северного) в летнее время освещены Солнцем круглосуточно, в то время как Южного не освещены совсем. И хотя житейский опыт подсказывает, что температура в освещенной мезосфере должна быть выше, чем температура в неосвещенной, наблюдения показывают, что самое холодное место на Земле (до  $-150^\circ C$ !) — как раз летняя мезопауза.

Причина сильного ее охлаждения в циркуляции воздушных потоков, в частности в меридиональном движении воздушных масс между летним и зимним полушариями. Потоки воздуха поднимаются из летней полярной атмосферы на высоту 60–90 км, охлаждая при этом мезосферу, проходят над экватором и устремляются в полярную мезосферу зимнего полушария, тем самым нагревая ее. Кроме того, восходящие потоки переносят влажный воздух из нижних слоев атмосферы в верхние. Картина воздушных течений в летний период во многом обязана так называемым атмосферным гравитационным волнам. Переноса энергию и импульс из нижних

слоев атмосферы в верхние, они взаимодействуют с основным потоком воздуха в мезосфере (направленным с востока на запад в летний период) и участвуют в формировании воздушных течений, охватывающих оба полушария. Кроме этого, гравитационные волны, разрушаясь на высотах 70–90 км, создают турбулентные потоки тепла, направленные сверху вниз. Это также может приводить к уменьшению температуры в верхней мезосфере.

Третье важное условие, необходимое для формирования ледяных кристаллов в мезопаузе, как уже отмечалось, — присутствие ядер конденсации. Обычные тропосферные облака несут в себе достаточно много пыли, поднимаемой с земли пыльными бурями, так что каждая капля или снежинка содержит твердую маленькую частичку. Американо-шведские ракетные эксперименты, проведенные непосредственно в поле серебристых облаков, показали, что их ледяные кристаллики также содержат твердые маленькие частицы размером несколько десятков нанометров. В их состав входили железо и никель, типичные элементы метеорной пыли. Таким образом, предположение о том, что ядрами конденсации ледяных кристаллов серебристых облаков являются частицы метеорного происхождения, получило убедительное подтверждение. Но не только они могут служить зародышами ледяных частиц. Некоторые исследователи полагают, что ядрами конденсации могут быть также скопления (кластеры) ионов с «прилипшими» к ним молекулами  $H_2O$ , так называемые гидратированные ионы. Ракетные измерения зафиксировали их наличие в окрестности серебристых облаков. Вопрос о том, какой тип ядер конденсации преобладает в ледяных частичках, пока остается открытым.

Если созданы все условия для образования ледяных кристалликов, приблизительно на высо-

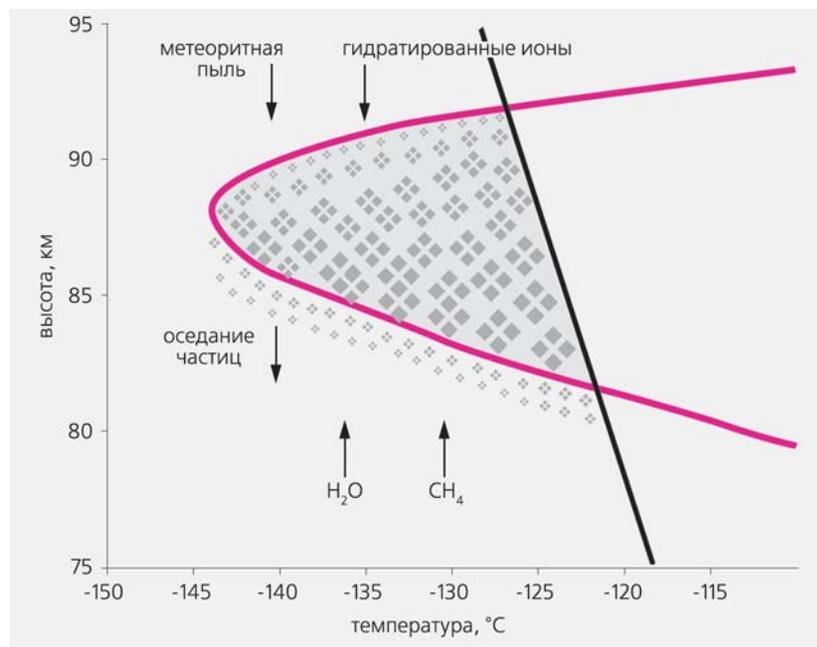


Схема образования ледяных частичек серебристых облаков. Цветная линия — профиль температуры вблизи мезопаузы, черная — максимальная температура, при которой возможна конденсация паров воды в ледяные кристаллы (точка инея). В области, ограниченной цветной кривой и черной прямой, происходит образование и активный рост кристаллов, серебристые облака становятся видимыми. Стрелками сверху вниз показано оседание метеорной пыли и гидратированных ионов. Стрелками снизу вверх обозначены восходящие потоки паров воды и метана ( $CH_4$ ).

те 90 км лед начинает замерзать на ядрах конденсации. Но благодаря земному притяжению ледяные частицы медленно оседают со скоростью 100–300 м/ч. В слое 80–85 км размер ледяных кристаллов возрастает в несколько раз, они рассеивают достаточно много солнечного света, и серебристые облака становятся видимыми невооруженным глазом с поверхности Земли. Ниже 80 км температура мезопаузы резко возрастает, и начинается противоположный процесс — испарение ледяных кристаллов (сублимация). Их размер быстро уменьшается, кристаллы рассеивают все меньше и меньше света и становятся невидимыми. Именно по этой причине серебристые облака видны в узком слое на высотах 80–85 км. Повторим, что непрерывный рост ледяных кристал-

лов до видимого размера возможен только при условии перенасыщения водяных паров надолго (то есть при низкой температуре и достаточной влажности воздуха), а также при постоянном притоке новых молекул  $H_2O$  с нижних высот.

Такова в общих чертах теория образования серебристых облаков, которая сегодня рассматривается как наиболее вероятная [10–11].

### Динамика серебристых облаков — медленные и быстрые процессы

Для верхней атмосферы Земли характерны динамические процессы, различающиеся по продолжительности и пространственному масштабу влияния.

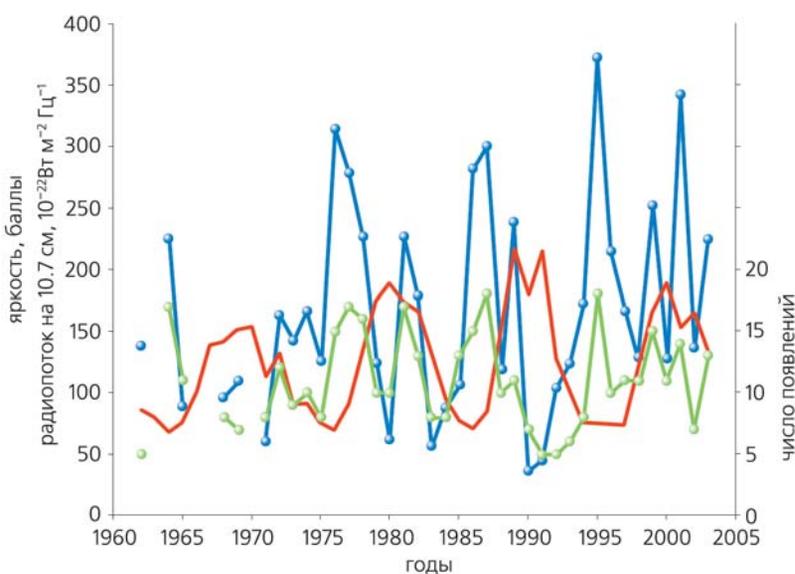


Мощное поле серебристых облаков над тунгусской тайгой 16 июля 1988 г. Видна волновая структура, состоящая из пересечения крупных и мелких волн.

Фото В.А.Ромейко

Наиболее заметные многолетние изменения атмосферных параметров — 11-летний цикл, связанный с солнечной активностью, и квазидвухлетняя цикличность. К долговременным процессам можно отнести колеба-

ния воздуха с периодами в 5, 10 и 16 дней (планетарные волны). Гравитационные волны с периодами несколько часов и длинами волн несколько сотен километров, суточные и полусуточные лунные и солнечные приливы



Соотношение между годовыми вариациями числа появлений серебристых облаков (зеленая кривая, правая шкала), суммарной яркостью облаков (синяя кривая, левая шкала) и 10-летним циклом солнечной активности (красная кривая, левая шкала). Циклические изменения активности Солнца представлены в виде изменения потока радиоизлучения на длине волны 10.7 см, усредненные за июль—июль каждого года. Временные ряды взяты из Московской базы данных [7]. Видно, что в общих чертах действительно наблюдается антикорреляция между солнечным циклом и годовыми вариациями в серебристых облаках.

относят к классу короткопериодических возмущений.

Серебристые облака непосредственно вовлечены во весь этот комплекс динамических процессов и в той или иной степени отражают их сложное переплетение. Хорошо развитое поле серебристых облаков представляет собой фантастическую картину, достойную кисти мастера. Серебристо-белесая пелена заполняет сумеречное небо, гигантские волны и валы «бриллиантового» цвета пересекаются друг с другом, двигаются в различных направлениях, исчезают и появляются вновь. Небольшие гребни и гребешки, подобные легкой ряби на поверхности озера, заполняют пространство между большими волнами, создавая иллюзию водной поверхности неспокойного моря. Иногда можно наблюдать отдельные ветви, закрученные в спирали, — признаки вихревых движений в мезопаузе, связанных с сильными турбулентными процессами.

Продолжительность видимости серебристых облаков изменяется в широких пределах. Их появление и исчезновение в течение четверти часа может заметить только опытный наблюдатель. Как правило, возникает слабая по яркости серебристая пелена (флер), на которой можно различить небольшие волновые очертания. Случается, что яркие поля, прекрасно различимые на фоне сумеречного сегмента и занимающие его большую часть, видны на протяжении от двух до пяти часов. При этом свечение одного края поля может слегка усиливаться, затем разгорается его центральная часть, и, наконец, высвечивается противоположный край. Иногда заметны несколько отдельных ярких серебристых полей, разделенных темными областями, что связано с прохождением атмосферной гравитационной волны большого масштаба (несколько сотен километров), на гребнях которой образуются самостоя-

тельные области серебристых облаков.

Часто возникает вопрос: связаны ли серебристые облака с солнечной активностью? Безусловно, поскольку она является мощнейшим фактором многолетней динамики земной атмосферы в целом. Верхняя атмосфера (и мезопауза в частности) чутко реагируют прежде всего на изменение потока ультрафиолетового (УФ) излучения в 11-летнем цикле. Как уже отмечалось, оно вызывает фотодиссоциацию молекул водяных паров на высотах 60—90 км. Соответственно, вариации в его потоке приводят к изменениям в количестве водяного пара в верхней атмосфере. В годы максимума солнечной активности поток УФ-излучения в большей степени разрушает молекулы  $H_2O$ , чем в годы с минимальной активностью Солнца. По этой причине количество водяных паров в мезопаузе (на высоких широтах) может быть несколько меньше в годы максимума, чем в период минимума солнечного цикла [12]. Значит, можно ожидать, что в годы максимальной активности число появлений и яркость серебристых облаков будет меньше, а в годы минимума — выше. И действительно, такая закономерность (антикорреляция) существует.

Однако не все так просто. Существует определенный фазовый сдвиг (1—3 года) между циклом активности Солнца и вариациями в параметрах серебристых облаков: максимум в активности облаков наблюдается спустя 1—3 года после минимума солнечной активности. Если бы существовала прямая связь между изменениями в потоке УФ-излучения и вариациями в количестве водяных паров в мезосфере, такой сдвиг не должен бы наблюдаться. Кроме того, многолетний цикл активности серебристых облаков (более чем за 40 лет) показывает вариации с периодом 2—5 лет, которых нет в цикле сол-

нечной активности. Имеется еще один немаловажный факт: период многолетних вариаций серебристых облаков составляет  $9.4 \pm 0.2$  года, что примерно на год меньше периода солнечной активности. Поэтому напрашивается такой вывод: прямой и однозначной связи между циклом активности Солнца и многолетними вариациями в серебристых облаках нет. Действительно, земная атмосфера живет «собственной жизнью», в ней присутствуют многочисленные процессы и колебания, не совпадающие с циклом солнечной активности, поэтому мы вправе ожидать, что на вариации в серебристых облаках влияет сложная комбинация, состоящая из атмосферных колебаний и изменений активности Солнца. Какие же именно атмосферные процессы играют решающую роль в ежегодных вариациях свойств серебристых облаков, пока, к сожалению, неизвестно.

Планетарные волны с периодами 5, 10, 16 дней также оказывают существенное влияние на верхнюю атмосферу. Так, при прохождении планетарных волн через мезопаузу температура воздуха может последовательно увеличиваться и уменьшаться на 5—15°C, что приводит к образованию или полному разрушению серебристых облаков.

За быстрые изменения в яркости и формах облаков в течение нескольких часов и даже нескольких минут ответственны атмосферные гравитационные волны. Визуальные наблюдения демонстрируют, что в ярких облаках всегда присутствуют небольшие гравитационные волны, которые при своем движении локально изменяют яркость отдельных областей (в основном за счет геометрического эффекта), но не ослабляют яркость поля в целом и не приводят к его разрушению. В то же время более длинные и медленные гравитационные волны могут формировать отдельные поля серебристых облаков.

## Из космоса и с Земли

Впервые сверху серебристые облака увидел 18—19 марта 1965 г. космонавт А.А.Леонов с космического корабля «Восход-2», а затем, 9 июня 1970 г., — В.И.Севастьянов с борта космического корабля «Союз-9». (5 июня 1969 г. образования, похожие на серебристые облака, зарегистрировал фотометр американского спутника «OGO-6» над полярной областью. Рассеивающий слой тогда находился на высоте 84.3 км над дневной поверхностью, что, впрочем, не противоречило земным наблюдениям: часто, видя яркие поля серебристых облаков низко у горизонта на широте 60°, мы не предполагаем, что они находятся за Полярным кругом, т.е. в области незаходящего Солнца!) А в июле 1973 г. американский исследователь П.Вейц зафиксировал серебристые облака с борта орбитальной станции «Скайлэб».

Значительное внимание серебристым облакам уделяли отечественные космонавты: В.В.Коваленков, Г.М.Гречко, А.С.Иванченко, В.П.Савиных, В.Г.Титов, А.Ю.Калери. В течение нескольких минут им удавалось увидеть то, на что наблюдателям с Земли требовалась ночь. Неоднократные беседы с космонавтами позволили составить некоторую обобщающую картину вида серебристых облаков из космоса: они наблюдаются всегда «с ребра», в узком слое атмосферы толщиной около 2.5°, но никогда сверху на фоне Земли (из-за малой оптической толщины облаков); максимальное время одного наблюдения составляет 10—15 мин, а чаще всего 5—7 мин (из-за большой скорости орбитальной станции на высоте примерно 350 км); определенной концентрации облаков над какими-либо областями (вулканами, материками, горными массивами) пока не обнаружено.

Неоднократно делались попытки провести совместные наблюдения как с Земли, так и из



27.07.2003 МКС



Вверху — серебристые облака с борта МКС в ночь 26/27 июля 2003 г. Несмотря на то, что поле облаков видно с «ребра», хорошо заметны волновые формы различных масштабов. Фото астронавта Эда Лу в обработке В.А.Ромейко. В середине — работа художника Н.Федорова «Серебристые облака над тунгусской тайгой», написанная 16 июля 1988 г. Внизу — серебристые облака 3 июля 1933 г. под Ленинградом.

Фото Е.Л.Кринова

космоса, но по целому ряду причин это не удавалось. И только в ночь с 26 на 27 июля 2003 г. впервые были получены снимки одного и того же протяженного поля серебристых облаков с борта Международной космической станции астронавтом Э.Лу, Звенигородской обсерваторией под Москвой и на Урале, в районе Перми.

Что же нового дают наблюдения из космоса? Одно из преимуществ перед наземными — возможность регистрации в широкой полосе широт и долгот. Данный метод позволяет получить крупномасштабную структуру полей серебристых облаков. Другое преимущество — возможность работать в спектральных диапазонах волн, которые не доходят до поверхности Земли из-за поглощения земной атмосферой. Так, на спутниках НАСА используются ультрафиолетовые фотометры, работающие на длинах волн 252–292 нм, которые измеряют интенсивность солнечного света, отраженного частицами серебристых облаков под различными углами по отношению к падающему от Солнца свету. При этом спутник, в отличие от земного наблюдателя, не ограничен погодными условиями и временем суток, примыкающим к границе дня и ночи.

Решение сложных задач, связанных с динамикой ночных облаков, требует проведения комплексных, долговременных наблюдений как с Земли, так и из космоса. В настоящее время американские ученые готовятся к реализации нового космического проекта AIM (Aeronomy of Ice in the Mesosphere). Его задача заключается в исследовании полярных мезосферных облаков, возникающих ближе к полюсу (за 70°с.ш.), — ближайших родственников серебристых облаков средних широт. Разница между ними не столько в строении и физических характеристиках, сколько в условиях наблюдения. Основная задача проекта состоит в том, чтобы изучить причины образования

этих облаков и их динамику. Результаты миссии AIM станут хорошей проверкой современных теорий, которые предполагают наличие определенной связи между динамикой полярных мезосферных облаков и глобальными климатическими изменениями, связанными с загрязнением атмосферы. В рамках проекта запланировано исследование пространственного распределения этих облаков в мезосфере над Северным и Южным полюсами, определение размеров ледяных частиц и состава ядер конденсации, изучение активности атмосферных гравитационных волн, исследование аэрозолей и притока метеорной пыли в атмосферу Земли, определение вертикальных профилей температуры воздуха, количества водяного пара и содержание других химических компонентов (ОН, СН<sub>4</sub>, О<sub>3</sub>, СО<sub>2</sub>, NO).

Запуск аппарата запланирован на осень 2006 г., срок его службы рассчитан минимум на два года. Информацию об этом интересном проекте и других исследованиях мезосферных облаков можно найти в Интернете (сайты <http://aim.hamptonu.edu>, [www.tunguska.ru](http://www.tunguska.ru)).

Наземные наблюдения серебристых облаков не теряют своей актуальности. Современные цифровые технологии и средства коммуникации позволяют организовать наблюдения на новом качественном уровне. Было бы полезно организовать единую сеть цифровых фотокамер, разделенных по широте и долготе

сравнительно небольшими расстояниями порядка 50 км, т.е. создать «сотовую» структуру из фотокамер с размером ячейки 50×50 км. Реализовать этот проект на густонаселенных территориях с хорошо развитыми средствами связи вполне возможно. В настоящее время цифровые фотокамеры достигли отличного качества при своей сравнительно небольшой стоимости. С другой стороны, возможности Интернета позволят объединить камеры в единую сеть с минимальными затратами.

Единая программа может автоматически управлять камерами, включать и выключать их в заданное время, производить съемку через определенный временной интервал (например, 1 кадр через одну минуту), устанавливать необходимые параметры съемки с учетом освещенности сумеречного сегмента неба. Цифровые фотографии могут размещаться на общем сервере и подвергаться стандартной автоматизированной обработке для определения наличия серебристых облаков в данном наблюдательном пункте. В случае появления облаков в каком-либо месте возможно мгновенное оповещение остальных наблюдателей. Специальные программы могут также обрабатывать фотографии серебристых облаков с целью определения их яркости, границ полей, морфологических форм и других характеристик.

Мы уверены, что данная схема наблюдений существенно продвинет вперед исследование ди-

намики серебристых облаков в пространстве и времени, поможет создать наиболее детальную карту полей облаков над земной поверхностью и тем самым проследить их полный путь от образования до исчезновения.

\* \* \*

Уже в течение 120 лет серебристые облака наблюдаются на летнем сумеречном небе в области широт 50–70°. Хотя за это время о них удалось узнать довольно многое, вопросы, в том числе и ключевые, до сих пор остаются открытыми. Пожалуй, наиболее важный и в то же время наиболее трудный из них — что же случилось с атмосферой Земли в 1885 г.? Почему серебристые облака не появлялись до этого времени, а потом наблюдались почти каждый летний сезон? В этом смысле возникновение феномена серебристых облаков 120 лет назад можно считать примером глобального (охватившего оба полушария) нового явления, разделившего историю на «до того» и «после того».

В истории нашей планеты были, конечно, и другие более известные события, за которыми пока что не последовала реставрация прежнего состояния. Это возникновение жизни, образование кислородной атмосферы, превращение Сахары и других низкоширотных территорий в пустыни... Серебристые облака показывают нам, что эволюция продолжается, и заставляют лишний раз задуматься, что нас ждет впереди. ■

## Литература

1. Бронштэн В.А., Гришин Н.И. Серебристые облака. М., 1970.
2. Ceraski W. //Annales de l'Observatoire de Moscou. 1890. Ser.2. V.2. P.177—180 (франц.).
3. Jesse O. // Meteor. Z. 1888. V.5. P.90—94.
4. Vestine E.H. // J. Roy. Astr. Soc. Canada. 1934. V.28. №6, 7. P.249—272, 303—317.
5. Астапович И.С. // Труды VI совещания по серебристым облакам. Рига, 1961. С.49—92.
6. Гришин Н.И. Инструкция для наблюдений серебристых облаков. М., 1957.
7. Ромейко В.А., Перцев Н.Н., Далин П.А. // Геомагн. и аэр. 2002. Т.42. №5. С.702—707.
8. Romejko V.A., Dalin P.A., Pertsev N.N. // J. Geophys. Res. 2003. V.108. №D8. P.8443.
9. Хвостиков И.А. Серебристые облака // Природа. 1952. №5. С.49—59.
10. Бронштэн В.А. Серебристые облака и их наблюдение. М., 1984.
11. Гаврилов А.А., Казанников А.М., Кайдалов О.В. // Астрономический вестник. 1997. Т.31. №5. С.472—479.
12. Thomas G. E., Olivero J. // Advances in Space Research. 2001. V.28. №7. P.937—946.



Реки Ангара и Белая, снятые с борта Международной космической станции (МКС) в 2002 г.

# На форуме гидрологов: оценки, эксперименты, прогнозы

Широкий круг научных и хозяйственных проблем рассматривался на VI Всероссийском гидрологическом съезде, который проводился в Санкт-Петербурге с 28 сентября по 1 октября 2004 г. В работе съезда приняли участие более 500 представителей научных, проектных, учебных и производственных организаций Российской Федерации, стран СНГ и ряда других. Было заслушано около 200 устных докладов, представлено 275 стендовых. Кроме того, на двух круглых столах обсуждались проблемы гидрологического образования и трансграничного переноса воды, наносов и загрязняющих веществ.

За последние десятилетия под влиянием изменений климата и воздействия антропогенных факторов на территории России существенно изменились водный баланс, состояние водных ресурсов и режим водных объектов, качество природных вод. Обострились межтерриториальные и межотраслевые споры по управлению, использованию и распределению водных ресурсов.

Экономический кризис 90-х годов отразился на состоянии гидрологии в России и других странах СНГ: сократилась наблюдательная сеть, снизилось качество гидрологических прогнозов, резко уменьшились объемы научных исследований, экспериментальных и экспедиционных работ. Многие гидротехнические сооружения (ГТС) находятся в аварийном состоянии (20% из 30 тыс. ГТС). Все сложнее проводить проектные и изыскательские работы, остро не хватает молодых специалистов.

И все же основной производственный и научный потенциал науки о воде сохранился, а в последние годы даже отмечаются некоторые позитивные сдвиги, например в области расчетов стока и водного баланса, оценки ресурсов поверхностных и подземных вод и их качества, изучения гидрофизических и русловых процессов.

Организаторам съезда удалось собрать и опубликовать материалы съезда в семи отдельных книжках под общим названием «Тезисы докладов VI Всероссийского гидрологического съезда. 28 сентября – 1 октября 2004 г. Санкт-Петербург». Первая составлена из тезисов пленарных докладов. Названия шести других книг совпадают с названиями секций, работавших на съезде:

- 1) состояние и перспективы развития систем гидрологических наблюдений и информационное обеспечение потребителей;
- 2) наводнения и другие опасные гидрологические явления: оценка, прогноз и смягчение негативных последствий;
- 3) водный баланс, ресурсы поверхностных и подземных вод, гидрологические последствия хозяйственной деятельности и изменений климата; уязвимость и адаптация социально-экономической сферы;
- 4) экологическое состояние водных объектов. Качество вод и научные основы их охраны;
- 5) гидрофизические явления и процессы. Формирование и изменчивость речного стока, гидрологические и водохозяйственные расчеты;
- 6) проблемы русловых процессов, эрозии и наносов.

Мы предлагаем вниманию читателей рефераты некоторых материалов, которые дают представление о широком спектре проблем, прозвучавших на форуме гидрологов.

## Водные ресурсы

На основе анализа данных за 1936–2003 гг. среднегого-летние возобновляемые водные ресурсы России, включая подземные воды, дренируемые речными системами, составляют 4348 км<sup>3</sup> в год. Из них 4113 км<sup>3</sup> сформированы на территории страны, а 235 км<sup>3</sup> — приток с со-

предельных территорий. Возобновляемые подземные водные ресурсы, не связанные с речным стоком, приблизительно оцениваются в 276 км<sup>3</sup>/год.

Среди шести стран, обладающих наибольшими водными ресурсами (Бразилия, Россия, Канада, США, Китай, Индия) по абсолютной величине Россия за-

нимает второе место в мире после Бразилии, по водообеспеченности населения — треть (после Бразилии и Канады), а по водообеспеченности единицы территории — последнее. Современное водопотребление в России оценивается в 70 км<sup>3</sup>/год (в том числе 10 км<sup>3</sup> за счет подземных вод), или 1.6% от водных



Водные объекты и гидротехнические сооружения. Вверху — Аральское море, 2004 г.; Волжская ГЭС, 2002 г. В середине — Дунай, наводнение 2002 г.; лед на Волгоградском водохранилище, 2004 г. Снимки с МКС. Внизу — оз.Шавлинское и р.Бишкаус на Алтае. Фото В.А.Рудакова.

ресурсов; в Бразилии этот показатель составляет 0.5%, в Канаде 1.5%, в США 13.1%, в Китае 17.7% и в Индии 25.4%.

Во многих регионах России имеются серьезные проблемы с водообеспечением из-за крайне неравномерного распределения водных ресурсов по территории, очень большой их временной изменчивости (особенно в южных районах), высокой степени загрязнения. По величине местных водных ресурсов Южный и Дальневосточный федеральные округа России различаются почти в 30 раз, а по водообеспеченности населения примерно в 100; показатели водообеспеченности отдельных субъектов Федерации различаются в тысячи раз.

Среди субъектов Федерации наибольшие суммарные водные ресурсы имеются в Красноярском крае и Республике Саха (Якутия) — соответственно 947 и 896 км<sup>3</sup>/год, наименьшие — в Республике Калмыкии, Белгородской, Курганской и Курской областях (соответственно 1.83, 2.72, 3.52 и 3.70 км<sup>3</sup>/год); еще в 10 областях и республиках водные ресурсы не превышают 8 км<sup>3</sup>/год.

С 1936 по 2003 г. в России наметилась тенденция некоторого увеличения суммарных водных ресурсов. Если за период 1936—1960 гг. они оценивались в среднем в 4197 км<sup>3</sup>/год, то за 1985—2003 гг. — в 4512 км<sup>3</sup>/год; т.е. выросли на 7.5%. В последние два десятилетия водные ресурсы Северо-Западного, Центрального, Волго-Вятского и Уральского экономических регионов увеличились по сравнению с многолетней нормой на 14—27%, Северного, Восточно-Сибирского и Дальневосточного были выше на 2—6%, в то время как водные ресурсы Северо-Кавказского и Западно-Сибирского регионов практически не отличались от нормы. Существуют тенденции увеличения годового стока р.Волги и крупнейших рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, в то время как в ряде рек

южных регионов, в частности бассейна Дона, в последние десятилетия водные ресурсы уменьшаются.

Суммарный годовой сток шести крупнейших рек, впадающих в Северный Ледовитый океан (Енисей, Лены, Оби, Колымы, Печоры, Северной Двины) с 1936 г. по настоящее время увеличился на 130 км<sup>3</sup>/год или на 7.5%. Эта тенденция коррелирует с повышением глобальной температуры воздуха. Годовой приток речных вод в океан за последние 12 лет увеличился на 210 км<sup>3</sup>/в год (по сравнению с периодом 1921—1965 гг.), т.е. за этот период океан получил дополнительно 2500 км<sup>3</sup> пресной воды, в том числе 1500 км<sup>3</sup> за счет стока российских рек.

В последние 20—25 лет на преобладающей части территории страны весьма существенно увеличилась водность рек в межженный период, особенно в зимние месяцы (в ряде регионов на 60—90% по отношению к норме), что по эффективности воздействия на сток сопоставимо с регулирующим влиянием водохранилищ.

С 1965 по 1975 г. в период наиболее интенсивного развития хозяйственной деятельности водопотребление в стране выросло в 2.5 раза; с 1975 г. по 1990 г. оно практически стабилизировалось (в пределах 107—115 км<sup>3</sup>/год), что объясняется замедлением темпов роста экономики и внедрением водосберегающих технологий; с 1991 г. из-за экономического кризиса началось интенсивное уменьшение водопотребления (до 72 км<sup>3</sup>/год в 1999 г.). В последние годы объем водопотребления стабилизировался на величине около 70 км<sup>3</sup>/год.

За последние 15—20 лет в целом по России удельная водообеспеченность (на одного жителя) заметно увеличилась, однако главный недостаток российских водных ресурсов — их крайне неравномерное распределение по территории страны, не согласующееся с потребнос-

тями в пресной воде, — еще более усугубился: в ряде южных районов в результате миграции населения, уменьшения водных ресурсов и их возрастающего загрязнения проблемы водообеспечения становятся особенно острыми.

Предварительные результаты исследования, полученные в последние годы российскими и зарубежными учеными с использованием различных климатических сценариев и гидрологических моделей, показывают, что на преобладающей части территории России в первой половине XXI в. следует ожидать увеличения водных ресурсов и уменьшения их внутригодовой неравномерности; в частности, ожидается увеличение стока в бассейнах Волги и северных рек, прогнозируется рост притока речных вод с российской территории в Северный Ледовитый океан до 10—20%. В то же время в южных регионах, в бассейнах Дона и Днепра и на прилегающих территориях, имеющих и в настоящее время ограниченные водные ресурсы, вполне вероятно их значительное уменьшение за счет изменения климата.

Бедрицкий А.И. ( Росгидромет, Москва),  
Хамитов Р.З. (Федеральное агентство водных ресурсов, Москва), Шикломанов И.А. (Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург), Зекцер И.С. (Институт водных проблем РАН, Москва) // Тезисы пленарных докладов. С.3—10.

### Эксперимент «Вешние воды»

В 2002—2003 гг. в Государственном океанографическом институте (ГОИН) разработаны основы системы спутникового мониторинга сезонных процессов в устьях рек Европейской территории России (ЕТР) и осуществлен эксперимент «Вешние воды». Его информационную основу составили данные дистанционного зондирования Земли из космоса, сочетающие высокую частоту освещения природного объекта (до одного раза в сутки) со средним пространственным разрешением

250 м/пкс. Это позволяет отслеживать не только процессы в устьях рек, но и в прилегающих районах речного бассейна и на морской акватории за границами устьевого взморья. Данные поступали со спутниковой платформы TERRA и анализировались вместе с ежедневными материалами стандартных гидрометеорологических наблюдений в устьях рек.

В процессе эксперимента «Вешние воды» уточнены сроки и процесс весеннего вскрытия льда в устьях рек севера ЕТР; весеннего половодья в устье Волги; катастрофического паводка и послепаводковой обстановки в устье Терека; образования и динамики ледяного покрова в устье Волги и на акватории Северного Каспия.

Результаты, полученные в рамках эксперимента, подтвердили эффективность использования информации, поступающей со спутниковых платформ нового поколения. Их можно улучшить путем совершенствования существующих и разработки новых методик дешифрирования космических снимков, использованием спутниковых данных высокого разрешения (5–15 м/пкс), которые в настоящее время становятся все более доступными, а также привлечением дополнительной информации наземной наблюдательной сети. Эксперимент показал необходимость и актуальность создания современной системы мониторинга сезонных процессов в устьях рек и прибрежной зоне морей.

Горелиц О.В., Землянов И.В., Павловский А.Е. (Государственный океанографический институт, Москва) // Секция 1. С.13–15.

### Гидрологическая сеть

Гидрологическая сеть России — одна из старейших и достаточно развитых сетей мира. К 1986 г. ее численность составила 4440 пунктов наблюдений, из них 3926 на реках и 514 на озерах. Однако в 1999 г. сеть сократилась до 3053 пунктов.

В настоящее время отмечается ее относительная стабилизация и даже небольшой рост. По состоянию на 1 января 2004 г. в России функционируют 3068 гидрологических постов, из них 2717 речных и 351 озерных. Сток воды измеряется на 2191 посту, сток наносов — на 706 постах; 1306 постов относятся к категории реперных, 1401 — к основным и 361 — к дополнительным. Содержание реперной и основной сети финансируются из Федерального бюджета, а дополнительная сеть за счет бюджетов местных органов власти. В среднем за период с 1986 г. гидрологическая сеть сократилась на 30.3%. Однако в районах Крайнего Севера, Сибири, на Дальнем Востоке сокращение оказалось еще более существенным.

Бобровицкая Н.Н. (Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург) // Секция 1. С.5–6.

### Подземные воды Московского региона

Оценки естественных и потенциальных эксплуатационных ресурсов подземных вод центральных районов России проводились свыше 30 лет. За это время значительно возросла техногенная нагрузка на водосборы, заметно проявились климатические изменения, что отразилось на условиях питания подземных вод. В результате в Московском регионе на сегодня нет ни одного гидрометрического створа, где не отмечалось бы увеличение подземного стока в пределах от 0.01–0.03 до 0.15 л/с км<sup>2</sup> в год.

На 15 метеорологических станциях региона зафиксированы также положительные тренды в атмосферных осадках. За последние 30 лет их количество увеличилось здесь более чем на 100 мм, т.е. свыше 15–20% от среднееголетней нормы всего периода инструментальных наблюдений. Положительные тренды вскрыты также в среднегодовых значениях температур и, что особенно важно

для питания подземных вод, в зимних отрицательных температурах воздуха. Их сумма сократилась на 12–15°C, что привело к увеличению периода и интенсивности питания подземных вод.

Ковалевский В.С. (Институт водных проблем РАН, Москва), Семенов С.М. (Институт геоэкологии РАН, Москва) // Секция 3. С.10–12.

### Наводнения и их последствия

Результаты обработки и анализа фактических данных по речным наводнениям за 1998–2003 гг. ([www.dartmouth.edu/floods/](http://www.dartmouth.edu/floods/)) показывают, что на всех континентах земного шара за это время было зафиксировано 1119 наводнений. Наибольшее их количество было отмечено в Азии — от 40 до 50% от суммарного годового количества. Максимальное число наводнений пришлось на июнь–август — 34%, минимальное на февраль–апрель — 20%. 70% наводнений имели продолжительность от 1 до 7 дней, 14% — до 14 дней и 16% — более двух недель, в том числе 7% — свыше месяца. Свыше 90% речных наводнений были обусловлены прохождением дождей различной интенсивности и продолжительности. Что касается социально-экономических потерь, то по приблизительной оценке за 1998–2003 гг. в мире погибло 53 тыс. чел. Из мест постоянного проживания было временно эвакуировано 150 млн чел. Общий ущерб от наводнений превысил 135 млрд долл.

Истомина М.Н., Кочарян А.Г., Лебедева И.П. (Институт водных проблем РАН, Москва) // Секция 2. С.27–29.

### Колебания уровня Мирового океана

Интегральный индикатор глобального водообмена — уровень Мирового океана. В настоящее время измерительная сеть уровня из более 1700 станций объединена Межправительственной океанографической ко-

миссией при ЮНЕСКО в единую международную систему GLOSS (Global Sea Level Observing System) — Глобальную систему наблюдений за уровнем моря. Исследования показывают, что до 1900 г. уровень океана поднимался со скоростью около 1 мм/год, с 1900 по 2000 г. его подъем составил около 1.5 мм/год. В настоящее время скорость подъема уровня составляет 2 мм/год.

Исследования динамики вод поверхностной части гидросферы с учетом результатов, полученных на основе климатических моделей, показывают, что уровень Мирового океана по отношению к 90-м годам прошлого столетия может возрасти на 20–30 см к 2030 г. и в пределах 50–140 см (наиболее вероятно 65 см) к концу столетия. Это повышение произойдет в основном из-за таяния ледников и повышения температуры водных масс океана. При этом особый интерес представляет необходимость корректной оценки донного таяния ледников Антарктиды, которая в настоящее время принимается близкой к 360 км<sup>3</sup>/год, что соответствует ~1 мм/год в изменениях уровня. Однако существуют и более пессимистические прогнозы, в соответствии с которыми начнет разрушаться ледяной щит Западной Антарктиды. Это обстоятельство может привести к повышению уровня уже на несколько метров.

Клиге Р.К. (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва), Малинин В.Н. (Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург) // Секция 3. С.14–16.

### Водохранилища мира

На основе созданной в Государственном гидрологическом институте базы данных по водохранилищам мира (объемом более 0.1 км<sup>3</sup>) их суммарный полный объем в 2000 г. оценивается величиной 6370 км<sup>3</sup> (около 15% возобновляемых водных ресурсов), а суммарный полезный — 3950 км<sup>3</sup> (9.2% возобновляемых

водных ресурсов). При этом соотношение объемов водохранилищ к водным ресурсам меняется от 0.5% в Центральной Африке, западной части Южной Америки и Океании до 38–51% в Средней Азии, Казахстане и в Северной Африке.

По оценке ГГИ, общая площадь водного зеркала всех водохранилищ в мире составляет примерно 362 тыс. км<sup>2</sup> (без площади озер).

В целом, в 2000 г. суммарные потери воды на испарение с водохранилищ мира оцениваются в 170 км<sup>3</sup>/год, что составляет 4.5% и 8.6% от полного и безвозвратного мирового водопотребления соответственно. По континентам эти величины изменяются в широких пределах: 21% и 33% для Африки, 12.5% и 26.3% — для Южной Америки, 10.8% и 22% — для Австралии, 5.5% и 4.3% — для Азии, 2.85 и 6.9% для Европы; еще большие различия имеют место для природно-экономических регионов и стран мира. В отдельных регионах и странах потери на испарение с водохранилищ намного превышают величины безвозвратного водопотребления на хозяйственные нужды.

Балонишникова Ж.А. (Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург) // Секция 3. С.140–142.

### Прогноз наводнений в Санкт-Петербурге

В 1998–2001 г. совместными усилиями российских специалистов и фирмы «Дельфт Гидравликс» (Нидерланды) была разработана новая автоматизированная система прогноза наводнений в Санкт-Петербурге. В Северо-Западном управлении Гидрометслужбы установлена модель Балтийского моря. Сюда поступают данные из Института метеорологии и гидрологии в Норрчепинге (Швеция), где рассчитывается прогноз погоды по региону Северная Атлантика — Северная и Центральная Европа с помощью локальной модели высокого разрешения HIRLAM. В ней в свою очередь

используется материалы из Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды из Реддинга. (Данные о ветре и давлении рассчитываются с шагом по пространству 22 км через 1 ч.) Кроме этих сведений, для прогноза уровня необходимы прогнозы расходов воды через Датские проливы, поскольку водообмен Северного моря с Балтийским — основной фактор изменения среднего уровня последнего. Эти данные поступают из гидрографической службы Германии в Гамбурге. Кроме того, учитывается пока только среднегодовой расход одной реки — Невы. Модель декодирует данные и выполняет расчет колебаний уровня в Балтийском море на следующие 48 ч. На дисплее оперативного синоптика прогностический ход уровня по станции «Горный институт» сопоставляется с фактическим в режиме реального времени. Весь процесс приема данных, расчета, выдачи и рассылки результатов по электронной почте полностью автоматизирован.

Опыт, полученный при длительном испытании системы показал, что организация приема и обработки данных надежна и проста в использовании. Результаты прогнозов по водному посту «Горный институт» для значительных подъемов воды в 2000–2002 гг. следующие: дисперсия 22 см, средняя абсолютная погрешность 17 см, коэффициент корреляции 0.85. Совершенствование новой системы продолжается.

Клеванный К.А. (Управление «Морзащита» Правительства Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург); Дрень Л.М., Мостамади М.С. (Северо-Западное Управление Гидрометслужбы, Санкт-Петербург) // Секция 2. С.103–104.

### Состояние Аральского моря

Некогда четвертое по величине озеро в мире — Аральское море — усыхает в течение четырех десятилетий. К 2003 г. оно потеряло четыре пятых своего объема, площадь поверхности сократилась более чем на две

трети, уровень воды упал на 22 м, соленость воды возросла в 6–12 раз. Море отступило от берегов на 100–150 км (свыше 45 тыс. км<sup>2</sup>). С бывшего морского дна выдуваются и выносятся далеко за пределы Аральского моря более 100 млн тонн солевой пыли в год. В маловодные годы воды рек уже не доходят до нынешнего морского побережья.

Последняя гидрохимическая съемка, проведенная на акватории моря в пунктах вековых наблюдений, была выполнена в 1992 г., а с 1994 г. прекращены наблюдения за уровнем и температурой воды на береговых постах. В течение ряда последующих лет информация о состоянии моря складывалась в основном по данным спутниковых съемок и материалам небольших экспедиций.

В последние годы гидрометеорологическая сеть в районе Аральского моря постепенно восстанавливается. В дополнение к работавшим станциям Муйнак и Аральск с осени 1999 г. организованы наблюдения на станции Актумсык, расположенной на западном побережье Большого моря. С 2002 г. на Малом море открыт пост Тостубек, реконструированы посты в устьях рек Амударья и Сырдарья. При финансовой поддержке международных организаций активизировались экспедиционные наблюдения.

Водность рек бассейна Аральского моря в 2003 г. была несколько выше нормы. В течение мая–июля 2003 г. через Междуреченское водохранилище и систему озер Думалак (дельта Амударья) в Арал поступило 6,3 км<sup>3</sup> амударьинских вод. По Сырдарье в Малое море за 2003 г. притекло 9,0 км<sup>3</sup>, из них 7,3 км<sup>3</sup> по проливу Берга поступило на обводнение Большого моря. Многолетние данные по притоку речных вод в Аральское море показывают, что доля водных ресурсов Сырдарьи, поступающих в Арал, в последние годы постепенно

увеличивается. Резерв дальнейшего увеличения притока воды в Аральское море — повышение пропускной способности русла Сырдарьи и регулирование зимних сбросов в Арнасайское понижение.

В настоящее время по спутниковым снимкам отчетливо прослеживается разделение Аральского моря на три части — Малое море, восточную мелководную и западную глубоководную части Большого моря. Гидрометеорологическая информация, собранная участниками экспедиций в 2003 г., позволяет констатировать, что впервые за многие годы уровень Большого моря приостановил свое падение. Его годовая амплитуда в 2003 г. не превысила 10 см. Среднегодовой уровень, наблюдаемый на станции Актумсык, составил 30,3 м абс., при этом соленость в западной котловине Большого моря также стабилизировалась на значениях 82–90 г/л, характерных для 2002 г. Площадь водной поверхности Большого моря с учетом территории, обводняемой за счет сбросов из Малого моря, составляет 17687 км<sup>2</sup>, объем — 109 км<sup>3</sup>. Среднегодовой уровень Малого моря в 2003 г. составил 40,2 м абс. при годовой амплитуде 25 см, площадь — 3092 км<sup>2</sup>, объем — 21,8 км<sup>3</sup>. Минерализация воды, поступающая по проливу Берга из Малого моря в Большое море, согласно пробам, отобраным во время экспедиции МФСА (сентябрь 2003 г.), составляла 1,8 г/л.

Боровикова Л.Н., Горелкин Н.Е., Нурбаев Д.Д., Кудышкин Т.В. (Среднеазиатский научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент, Узбекистан) // Секция 3. С.149–151.

### **Загрязненность наносов на пойме Оки в районе Рязани**

В среднем течении Оки исследовалась загрязненность наносов поймы на двух створах. Первый, протяженностью 5,6 км, пересекает пойму у с.Солотча и проходит по естественным

ландшафтам (пастбища, сенокосы, прирусловой кустарник, мелколесье и старичное понижение). Второй расположен в 13 км ниже по течению, пересекает пойму чуть выше г. Рязани и проходит через мелиорируемые пашни и луга.

Работы проводились с 1997-го по 2003 г., когда характеристики весеннего половодья изменялись от аномально низких уровней воды (1997 и 2002 гг.) до средневысокого в 1999 г., превысившего норму на 93 см.

Наносы отбирались на участках с различной степенью антропогенной сельскохозяйственной нагрузки с помощью специальных пластиковых матов, имитирующих травяной покров. В каждом пункте их устанавливалось по 5–10 штук.

Мощность наносов определяется в основном длительностью затопления участков поймы. На первом створе в средний паводок нагрузка достигала 111 г/м<sup>2</sup>, а на втором — 656 г/м<sup>2</sup>. В средневысоком половодье она возросла соответственно до 561 г/м<sup>2</sup> и 1290 г/м<sup>2</sup>. Отложения наносов имеют близкую к нейтральной реакцию среды, содержание в них физической глины достигает 70%, калия в 4–12 раз, а фосфора в 2–3 раза больше, чем в подстилающей почве. Общее содержание органики с увеличением мощности наносов снижается от 52 до 12%, что связано с длительностью затопления и глубиной слоя воды. Грубый органический материал остается на ковриках на участках с небольшим слоем затопления. Данные отложения загрязнены металлами, при этом ПДК превышают железо, хром, никель и медь, приближается к ПДК цинк. По содержанию металлов в наносах и почвах прослеживается следующий ряд:

Al>Fe>K>Mg>Ca>Na>Mn>Zn>Cr>Ni>Cu>Hg.

Исследованиями установлено, что в среднем концентрации

тяжелых металлов в наилке на 20–25% выше, чем в верхнем слое почв. Между ними имеется тесная корреляционная связь (коэффициент корреляции 0.986). Это позволяет рассматривать отложения наносов в период половодий и паводков в качестве основного источника поступления металлов на пойменные земли.

Яшин В.М., Пыленок П.И. (Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им.А.Н.Костякова, Москва) // Секция 6. С.87–88.

### Водопотребление в мире в настоящем и будущем

В рамках международных программ в Государственном гидрологическом институте выполнена оценка водопотребления в мире, которое ныне составляет 3790 км<sup>3</sup>/год (с очень большими вариациями по регионам и континентам), а также прогноз с использованием двух сценариев. Первый — условный, в нем учитывается модель развития водопотребления в мире прошедших десятилетий. Второй — сценарий устойчивого развития: эффективное улучшение технологии использования пресных вод в орошении и в промышленности с уче-

том основных факторов, определяющих специфику каждого региона.

По первому сценарию мировое водопотребление будет расти на 10–12% за каждые десять лет и увеличится к 2025 г. в 1.37 раза по сравнению с 1995 г.; наиболее интенсивный рост водопотребления следует ожидать в Африке и Южной Америке (в 1.5–1.6 раза), наименьший в Европе и Северной Америке (в 1.2 раза).

По сценарию устойчивого развития водопотребление в мире в перспективе практически стабилизируется: к 2010 г. оно возрастет примерно на 5–6%, а затем начнет снижаться и к 2025 г. будет близко к современному уровню. При этом мировое промышленное водопотребление сократится по сравнению с 1995 г. на 10%, а в Европе и Северной Америке можно ожидать уменьшения суммарного водопотребления на 22–24%.

В настоящее время примерно 40% населения Земли живут при критически высокой нагрузке на водные ресурсы и исключительно низкой водообеспеченности. По условному сценарию уже к 2025 г. такого населения станет примерно 60%.

Развитие перспективного водопотребления по сценарию устойчивого развития позволит стабилизировать нагрузку на водные ресурсы уже в ближайшие два-три десятилетия, однако удельная водообеспеченность останется на катастрофически низком уровне, поскольку ее величина главным образом определяется ростом численности населения. При этом более всего пострадает население развивающихся стран.

Темпы снижения удельной водообеспеченности зависят от двух главных факторов: от социально-экономического развития стран, входящих в регион, и от климатических условий региона. В промышленно развитых регионах удельная водообеспеченность за рассматриваемый период снизится в 1.7 раза, а в регионах, в состав которых входят развивающиеся страны, — в 4–5 раз для условий достаточного и избыточного увлажнения и 7–8 раз для условий аридного и семиаридного климата.

Шикломанов И.А., Пенькова Н.В., Балонишникова Ж.А. (Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург) // Секция 3. С.133–135.

Материал подготовила  
М.Ю.Зубрева

## Космическая техника

### Новое зеркало для космических телескопов

В 2007—2008 гг. НАСА США, по-видимому, предпримет новые шаги для продления активной жизни космического телескопа «Хаббл». Параллельно начата работа над принципиально новой зеркальной установкой, которую можно будет смонтировать на борту другого аппарата. На «Хаббле» планируется смена отработавших аккумуляторов, гироскопов и широкоугольной камеры. Отмечается, что необходимая замена бортового спектрографа COS вряд ли возможна без непосредственного участия человека — эта операция слишком сложна для любого из существующих автономных аппаратов. Поэтому научный руководитель НАСА, бывший астронавт Дж.Грунсфелд (J.Grunsfeld) распорядился начать подготовку к изготовлению нового астрономического зеркала.

Оно должно отвечать всем последним достижениям в своей области. Так, в аналогичных наземных телескопах уже используется адаптивная оптика, позволяющая корректировать искажения изображений, связанные с тепловым расширением конструкций приборов, деформацией зеркала под собственным весом и атмосферными флуктуациями. Кроме того, появилась возможность снизить массу (и стоимость) современного оптического прибора по сравнению с тем, что стоит на телескопе «Хаббл».

Предполагаемые параметры космического адаптивного зеркала: диаметр около 2 м, масса 200 кг, стоимость от 200 до 300 млн долл. вкуче с другими приборами, плюс примерно 100 млн долл. — запуск с помощью ракеты повторного использования типа «Delta-2». Проект обещают поддержать военные

организации США, заинтересованные в развитии наблюдательной космической техники.

Science. 2004. V.304. №5673. P.940 (США).

## География

### Судно пересекает Южный полярный круг

В летний антарктический сезон 2003/04 гг. крупнейший круизный лайнер «Amsterdam», двигаясь вдоль западного побережья Антарктического п-ова, дважды (28 декабря 2003 г. и 20 января 2004 г.) пересек Южный полярный круг. Несмотря на отсутствие ледовых креплений корпуса судна, капитан Дж.Харрис получил от Международной ассоциации антарктических туроператоров и Агентства США по защите окружающей среды разрешение на плавание в этой акватории (без высадки туристов на берег). Ледовая обстановка была благоприятной: отмечено лишь небольшое число малых айсбергов, что не характерно для данного региона.

В истории полярного мореплавания «Amsterdam» стал вторым по тоннажу и размерам судном, которое пересекло Южный полярный круг. Первенство в этом отношении принадлежит крупнотоннажному авианосцу ВМФ США «Philippine Sea» — участнику IV экспедиции (1946—1947) адмирала Р.Бэрда (известной под названием «Operation Highjump»).

Polar Record. 2004. V.40. №214. P.280 (Великобритания).

## Океанография

### Откуда Гольфстрим на древнейшей карте?

До сих пор первой из карт, на которой показано какое-либо течение, считалась составленная в середине XVIII в. Бенджамином Франклином. Предшествовавшие ей средневеко-

вые изображения можно считать скорее картинками, чем достоверными планами. Однако в 2004 г. американский специалист по физической океанографии Т.Россби (T.Rossby; Университет штата Род-Айленд) случайно натолкнулся на книгу, в которой воспроизведен рисунок XVI в., изображающий северную акваторию Атлантического океана. Автором чертежа был назван шведский священник, которого, согласно принятому тогда обычаю, по-латыни именовали Олаусом Магнусом, т.е. Олафом Большим (или Великим). Этот любознательный пастор за грехи был послан в Исландию, где на досуге занялся «описанием природы».

В 1539 г. была опубликована созданная им «Carta Marina», на которой показаны воды, омывающие ледяной остров, а также, разумеется, игрушечные кораблики, мифические драконы, змии и другие обычные в тогдешней картографии украшения. Но, как с изумлением заметил Россби, отмеченные там же со всей тщательностью течения вполне отвечают реальности. Наложив на этот древний документ космические фотоснимки, ученый убедился, что петли и воронки северных ветвей Гольфстрима, снятые из космоса в последние годы, достаточно точно совпадают с нанесенными рукою Олафа Магнуса. Даже местоположение и размеры этих завихрений, воронок, диаметры которых иной раз составляют около 100 км, даны им сравнительно верно. На карту, хотя и в несколько наивной манере, нанесен, например, так называемый исландско-фарерский фронт — область, где теплые воды субтропиков, принесенных Гольфстримом, сталкиваются с холодными полярными. Откуда Олаф Магнус почерпнул эти сведения, остается загадкой.

Science. 2004. V.304. №5672. P.820 (США).

# Квартет «Cluster» исследует тайны магнитосферы

Л.М.Зеленый, Е.Е.Григоренко

Четырехспутниковая миссия «Cluster» позволяет производить идентичные измерения сразу в четырех точках пространства (впервые в истории магнитосферных исследований!)\*. Благодаря этому удастся исследовать трехмерную структуру объектов, определять плотность тока и, главное, разделять пространственный и временной эффекты в наблюдении изучаемых явлений. Изменение дистанции между спутниками (от нескольких сотен до нескольких тысяч километров) дает возможность получать информацию как о мелкомасштабных структурах в околоземной плазменной среде, так и о крупномасштабной картине тех или иных процессов в магнитосфере Земли и в солнечном ветре, обтекающем ее.

## Рябь на поверхности магнитопаузы

Магнитное поле Земли отделено от межпланетного магнитного поля и плазмы солнечного ветра тонким плазменным слоем, называемым магнитопаузой

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

© Зеленый Л.М., Григоренко Е.Е., 2005



**Лев Матвеевич Зеленый**, член-корреспондент РАН, лауреат премии Гумбольдта, директор Института космических исследований 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.



**Елена Евгеньевна Григоренко**, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В.Скобелева МГУ им.М.В.Ломоносова и Института космических исследований РАН. Занимается исследованием механизмов распространения солнечных космических лучей в межпланетной среде и ускорения плазмы в магнитосфере Земли. Входит в группу российских ученых, участвующих в анализе данных миссии «Cluster-2».

(рис.1). Положение магнитопаузы определяется балансом внешнего и внутреннего давлений: давлений плазмы солнечного ветра и магнитного поля Земли. Солнечный ветер — среда очень динамичная, его давление постоянно меняется, причем после очередного изменения баланс давлений устанавливается не сразу, поэтому магнитопауза все время находится в движении. Четырехспутниковые измерения «Cluster-2» позволяют детально изучать движения магнитопаузы и исследовать ее трехмерную структуру.

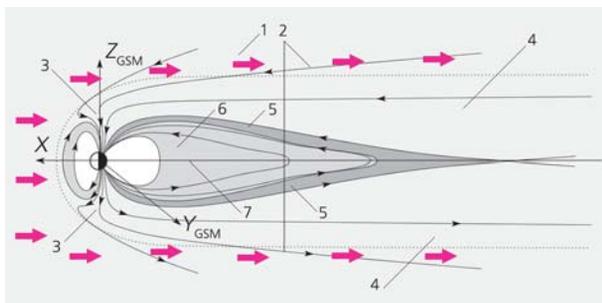


Рис. 1. Схематическое строение магнитосферы в плоскости  $XZ_{GSM}$ . 1 — солнечный ветер, 2 — магнитопауза, 3 — северный и южный касп, 4 — высокоширотные доли геомагнитного хвоста (северная и южная), 5 — пограничная область плазменного слоя, 6 — плазменный слой, 7 — нейтральная плоскость. Ось  $X$  направлена вдоль линии Земля—Солнце, ось  $Z$  — вдоль магнитного диполя Земли, а ось  $Y$  дополняет ортогональную систему координат.

Благодаря наблюдениям «Cluster-2» была подтверждена гипотеза о том, что внешняя поверхность земной магнитосферы не гладкая, а имеет «рифленый» вид из-за проходящей по ней непрерывной серии возмущений, напоминающих океанские волны. Первые экспериментальные доказательства существования на магнитопаузе плазменных волн обнаружилось в начале 2001 г. при анализе данных измерений магнитного и электрического полей. Эти волны наблюдаются как последовательность «гребней» и «впадин», по которым маленькая флотилия спутников скользит подобно виндсерферу. Длина волны — расстояние между соседними горбами или впадинами — составляет ~2000 км (рис.2). Эти возмущения дви-

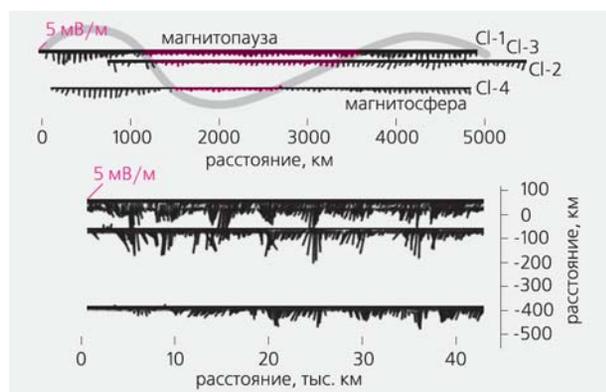


Рис. 2. Измерения волн на поверхности магнитопаузы. Черточками показаны направления векторов напряженности электрического поля, измеренные на четырех спутниках «Cluster-2». Серая линия изображает форму волны.

жутся по магнитопаузе в направлении от Солнца со скоростью ~145 км/с [1]. Чтобы осознать величину такой скорости, нужно представить себе самолет, который бы мог за 2.5 с преодолеть расстояние от Лондона до Парижа. Год спустя подобные плазменные волны были также обнаружены в плазменном слое хвоста магнитосферы, их длина волны составляла уже ~26 000 км, и двигались они в направлении с востока на запад (поперек хвоста) со скоростью 20 км/с.

Отметим, что первые указания на существование крупных «горбов», бегущих по поверхности магнитопаузы, были получены еще раньше в российском проекте «Интербол».

## Двойной касп

Магнитное поле вблизи магнитопаузы практически всюду направлено по касательной к ее поверхности и образует тем самым естественный барьер, препятствующий проникновению частиц солнечного ветра внутрь магнитосферы. Однако существуют две области (их проекция попадает в окрестности магнитных полюсов Земли), в которых силовые линии магнитного поля почти перпендикулярны поверхности магнитопаузы. Эти области называются северным и южным каспами. Через них частицы солнечного ветра могут врывать внутрь магнитосферы (рис.1). Области каспов представляют особый интерес для исследования, так как служат каналами, через которые энергия и плазма солнечного ветра поступают во внутренние области магнитосферы.

Полярная орбита «Cluster-2» предусматривала пересечение области каспов на каждом своем витке. Полученные данные показали, что при пролете полярных областей на дневной стороне магнитосферы наблюдаются значительные изменения энергии и плотности протонов, движущихся в направлении от Солнца. На низких широтах, вне области каспа, ионные спектрометры спутников регистрировали большое количество протонов высоких энергий (более 30 кэВ). Однако по мере того, как спутники продвигались в область более высоких широт и входили в район каспа, энергии регистрируемых протонов снижались и составляли 0—5000 эВ, также уменьшалась и плотность протонов.

30 августа 2001 г. аппараты двигались друг за другом почти по одной и той же орбите. В такой конфигурации квартет влетел в область северного каспа. Первым в эту область вошел спутник Cl-1, затем, минутой спустя, спутник Cl-4. Ионные спектрометры и того, и другого зафиксировали ожидаемое уменьшение плотности протонов (рис.3). Аппарат Cl-3 в это время находился всего лишь в 600 км от этих спутников, однако спектрометр, установленный на нем, не регистрировал признаков входа в касп в течение следующих 45 мин!

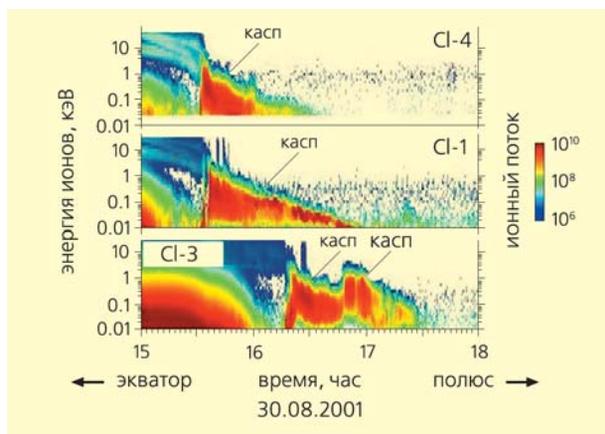


Рис.3. Ионные спектрограммы, измеренные на спутниках CI-4, CI-1 и CI-3. Цветом показана величина потока ионов (согласно цветовой шкале в правой части рисунка). На спектрограмме, измеренной аппаратом CI-3, видны повторные уменьшения энергии и плотности ионов — явление двойного каспа.

Лишь через три четверти часа на аппарате CI-3 было засечено снижение плотности протонов (вход в касп), однако спустя 28 мин произошло скачкообразное возрастание плотности и энергии протонов (выход из каспа). Затем в течение короткого времени эти характеристики не изменились, после чего плотность и энергии протонов вновь стали падать. Явление повторных уменьшений плотности и энергии протонов было названо двойным каспом. Объясняется оно тем, что область каспа быстро сдвигается по направлению к северному полюсу в ответ на изменение направления межпланетного магнитного поля с южного на северное.

### Секреты аворы

Всем, кому приходилось бывать за полярным кругом, хорошо знакомо полярное сияние, или аврора, которая «вывешивает» вспыхивающие зеленые и красные занавеси на ночном полярном небе. Но гораздо менее известно таинственное явление, называемое «черной аворой» — странный электрический феномен, создающий черные области внутри обычного полярного сияния. Он наблюдается как в районе северного, так и вблизи южного полюсов.

Чтобы разгадать загадку «черной аворы», шведские и английские ученые использовали измерения спутников «Cluster-2», которые как раз производились в области ее генерации. «Черная аврора» принимает различные формы: она может наблюдаться в виде черных колец, петель, пузырей на фоне сияния, создаваемого обычной авро-

рой. Новые данные показали, что «черная аврора» появляется в тех местах, где есть «дыры» в ионосфере (верхнем ионизованном слое атмосферы, в котором генерируется полярное сияние). Обычное полярное сияние образуется следующим образом. Электроны, двигаясь вдоль силовых линий магнитного поля, попадают в ионосферу либо из солнечного ветра, проникая через касп, либо из хвоста магнитосферы. Эти электроны взаимодействуют с нейтральными атомами или молекулами ионосферы, в результате чего атомы переходят в возбужденное состояние, время жизни которого обычно мало (вплоть до  $10^{-8}$  с). Возбужденный атом быстро переходит в основное состояние (или в состояние с меньшей энергией), испуская излучение в видимом диапазоне длин волн, которое и дает ионосферное свечение (полярное сияние). «Черная аврора» создается обратным механизмом: заряженные частицы (вызывающие свечение) вытягиваются из ионосферы в космическое пространство, и в результате в ионосфере образуются «дыры» в виде несветящихся областей, или «черная аврора» (рис.4). Измерения «Cluster-2» позволили понять, насколько масштабны вертикальные структуры, образующие «черную аврору», как долго они могут существовать и как они изменяются с высотой [2].

Благодаря измерениям «Cluster-2» удалось понять происхождение протонной аворы, еще одного загадочного типа дневной аворы, которая наблюдается в виде ярких пятен в атмосфере на дневной ее стороне. Оказывается, этот эффект возникает в результате образования «разрывов» в магнитном поле, через которые протоны солнечного ветра впрыскиваются во внутреннюю магнитосферу и, попадая в атмосферу, вызывают в ее верхних слоях свечение — яркие пятна.

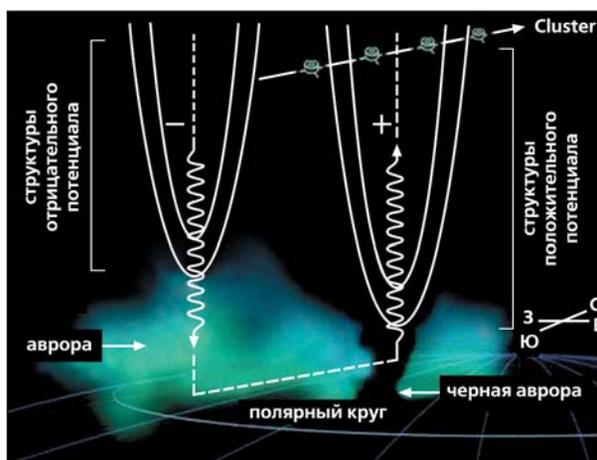


Рис.4. Сценарий образования «черной аворы». Измерения «Cluster-2» позволили установить, что «черная аврора» является «анти-аворой», т.е. образуется механизмом, противоположным механизму образования обычной аворы.

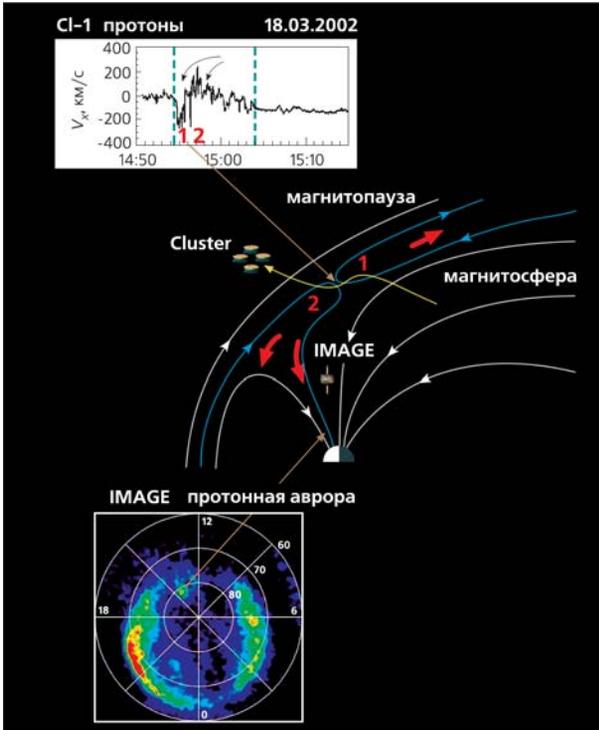


Рис.5. Механизм образования протонной авроры. В верхней части рисунка показаны скорости протонов, измеренные спутником Cl-1. В нижней части рисунка приведены данные измерения потока ультрафиолетового излучения спутником IMAGE.

Наблюдения «Cluster-2» впервые позволили точно и однозначно установить связь между появлением разрыва в магнитном поле и образованием протонной авроры. 18 марта 2003 г. в результате столкновения потока энергичных солнечных протонов с земной атмосферой наблюдалось яркое пятно, зарегистрированное спутником НАСА IMAGE (Imager for Magnetopause-to-Aurora Global Exploration, Обсерватория по формированию изображений для глобального исследования авроральной области и магнитопаузы) (рис.5). В это же время флотилия «Cluster-2» как раз проходила через область, которую пересекал поток протонов. Детальный анализ данных показал, что в этой области происходило так называемое магнитное пересоединение, нередко развивающееся в виде кратковременных вспышек, в ходе которых соединяются два полупространства, часто имеющие разные топологии магнитного поля и плазменные характеристики. При этом нарушается целостность и непроницаемость магнитопаузы за счет того, что магнитные силовые линии земного поля перезамыкаются с силовыми линиями магнитного поля солнечного ветра. В результате солнечные протоны втекают внутрь магнитосферы, вызывая свечение атмосферы, т.е. протонную аврору.

## Электрические токи в земной магнитосфере

Первый результат измерения плотности тока четырьмя спутниками «Cluster-2» был получен вблизи магнитопаузы. Плотность тока измерялась в локализованной магнитной трубке, заполненной плазмой. Такие трубки формируются в результате магнитного пересоединения — они соединяют внешнюю область, заполненную плазмой солнечного ветра, с внутренней областью магнитосферы, расположенной под магнитопаузой, и становятся «каналами», по которым плазма перетекает из одного полупространства в другое (рис.6). Магнитные трубки могут существовать в течение длительного времени, по ним плазма из солнечного ветра может поступать внутрь магнитосферы.

Было обнаружено, что распределение плотности тока внутри такой трубки неоднородно и имеет два максимума, в которых величина плотности тока достигает 25 и 55 нА/м<sup>2</sup> (для сравнения: средняя плотность тока в обычной стоваттной лампочке составляет  $\sim 30 \cdot 10^4$  А/м<sup>2</sup> — в  $10^{13}$  раз больше). Ток внутри трубки направлен почти в точности вдоль вектора магнитного поля; он обеспечивает равновесие плазмы в трубке. Полученный результат чрезвычайно важен для создания моделей силовых трубок и понимания того, как поток энергии поступает от солнечного ветра в магнитосферу.

Для физики магнитосферы важное значение имеют измерения плотности тока не только в области магнитопаузы, но и в хвосте магнитосферы.

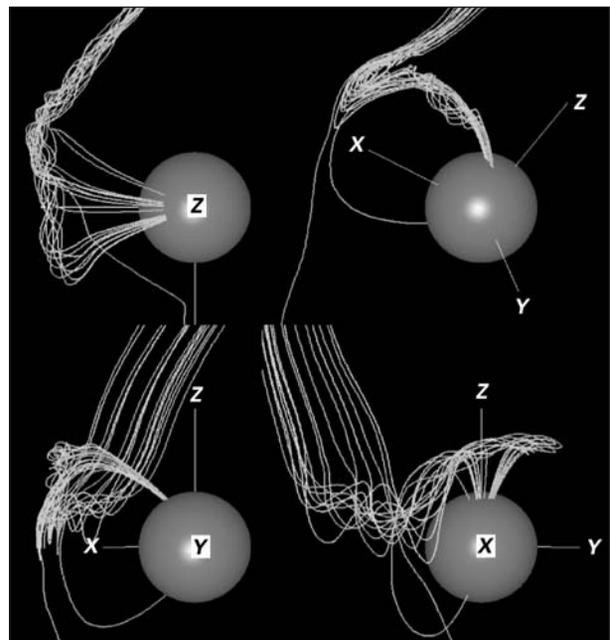


Рис.6. Модель конфигурации магнитного поля в локализованной магнитной трубке с плазмой: вид с разных направлений.

Напомним, что геомагнитный хвост образуется на ночной стороне Земли за счет вытягивания силовых линий земного магнитного поля потоком солнечного ветра, обтекающим магнитосферу. Магнитное поле в геомагнитном хвосте имеет сложную топологию: в высокоширотных областях хвоста оно вытянуто практически вдоль линии Земля—Солнце (вдоль оси  $X$ ), а по мере приближения к экваториальной плоскости модуль магнитного поля уменьшается практически до нуля, и в плоскости, называемой нейтральной, происходит поворот силовых линий (рис.1). Таким образом, нейтральная плоскость делит хвост на две доли, северную и южную, с противоположными направлениями магнитного поля. В результате такой геометрии поля по нейтральной плоскости протекает ток, направленный поперек хвоста (в направлении с утра на вечер). Он течет в слое конечной толщины, который называется токовым слоем. В хвосте накапливается энергия, поступающая в магнитосферу Земли из солнечного ветра. Процессы высвобождения этой энергии также происходят в хвосте, точнее в его токовом слое, и могут либо иметь взрывной характер и вызывать магнитосферные возмущения определенной силы (суббури), либо развиваться в почти стационарном режиме. Во втором случае энергия магнитного поля преобразуется в кинетическую энергию ускоренных частиц и тепловую энергию ионосферы, которую подогревают токи, текущие из магнитосферы вдоль силовых линий магнитного поля.

До сих пор считалось, что структура токового слоя геомагнитного хвоста хорошо описывается моделью Харриса: магнитное поле монотонно уменьшается по мере приближения к нейтральной плоскости; соответственно, распределение плотности тока в слое имеет один максимум (как раз в нейтральной плоскости), спадая к краям слоя (рис.7,а).

Одновременные измерения на трех спутниках «Cluster-2» позволили проверить правильность этой модели. Оказалось, что в спокойные периоды структура токового слоя неплохо описывается моделью Харриса. Однако в интервалы, когда в хвосте происходят мощные процессы высвобождения энергии, которые сопровождаются ускорением частиц и формированием высокоскоростных потоков плазмы, движущихся внутри токового слоя, структура слоя претерпевает сильные изменения. Так, если толщина токового слоя до момента наблюдения в нем потока ускоренных ионов была ~5000 км, то в момент прохождения потока она уменьшается в 10 раз и становится сравнимой с радиусом орбиты иона, вращающегося вокруг силовой линии магнитного поля (ионным гирорадиусом) [3]. При этом плотность тока в слое увеличивается в четыре-пять раз. И что еще интереснее, в периоды возмущений в токовом слое могут образовываться дополнительные максимумы плотности тока (рис.7,б и 8), расположенные вне нейт-

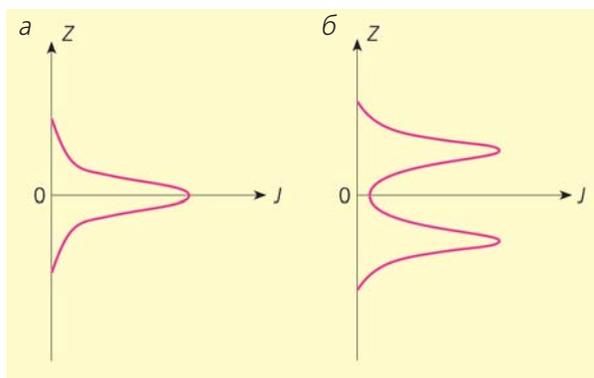


Рис.7. Распределение плотности электрического тока  $J$  в зависимости от расстояния от нейтральной плоскости,  $Z$ , в токовом слое геомагнитного хвоста.  $Z = 0$  соответствует положению нейтральной плоскости: согласно модели Харриса (а), при наличии бифуркации (б).

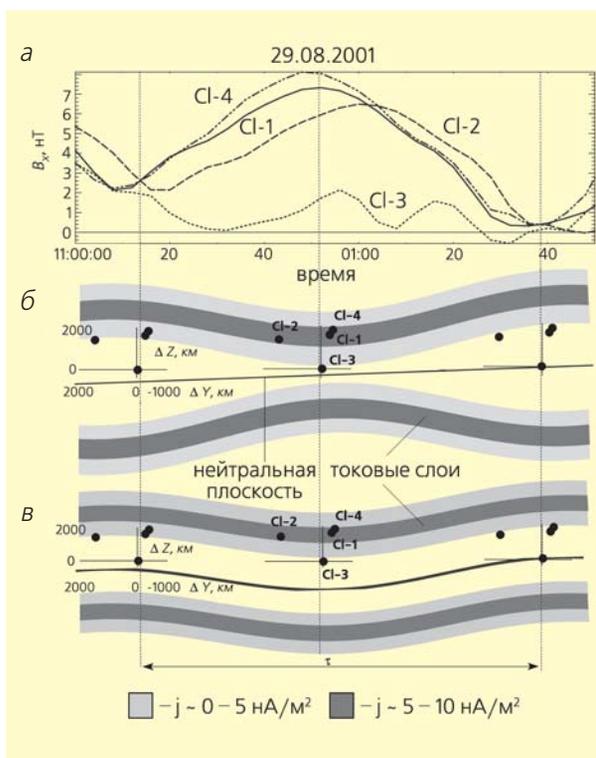


Рис.8. Измерения компоненты  $B_x$  магнитного поля в токовом слое геомагнитного хвоста четырьмя спутниками «Cluster» [4] (а). Распределение плотности тока (ее величина показана оттенками серого цвета) в токовом слое, полученное методом курлометра — на основе измерений пространственных градиентов магнитного поля (б, в). Схематично изображены два возможных типа возмущений токового слоя: «sausage»-like — неустойчивость типа «сосиска» (б), «kink»-like — неустойчивость типа «колена» (в).

ральной плоскости — происходит так называемая бифуркация токового слоя.

Подобное расщепление токового слоя ранее удалось обнаружить на основе статистического анализа большого количества наблюдений в дальних областях хвоста (на расстояниях от Земли ~650 000 км), выполненных спутником «Geotail». Благодаря проекту «Cluster-2» впервые была детально исследована тонкая структура этого явления и было установлено, что в периоды бифуркации токовый слой не остается неподвижным. Как правило, наряду с ней наблюдаются вертикальные движения токового слоя со скоростью ~60 км/с. Одновременно были зафиксированы волны, движущиеся по поверхности токового слоя поперек хвоста (с утра на вечер) со скоростью ~200 км/с [4]. Причины бифуркации токового слоя, а также источник волн и вертикальных движений слоя пока неизвестны. Возможный кандидат на эту роль — пересоединение силовых линий магнитного поля, происходящее в хвосте магнитосферы.

Другая модель, развиваемая российскими учеными, предполагает накопление ионов, захватываемых в окрестности токового слоя, за счет хаотического рассеяния. При этом ток захваченных частиц направлен противоположно основному току в слое и может привести к его уменьшению в центре (т.е. к бифуркации) [5].

## Как пересоединяются магнитные силовые линии

Пересоединение силовых линий магнитного поля в настоящее время считается основным процессом превращения энергии, происходящим во всех космических объектах, которые обладают магнитным полем (в солнечной короне, в магнитосферах планет, в астрофизических объектах). Благодаря пересоединению силовых линий энергия магнитного поля высвобождается и трансформируется в энергию плазмы, поэтому наблюдаемым результатом пересоединения оказывается нагрев и ускорение заряженных частиц. Выше мы говорили о пересоединении на дневной стороне земной магнитосферы, в результате чего плазма солнечного ветра проникает внутрь магнитосферы. Предполагается, что оно имеет место также и в токовом слое хвоста магнитосферы, по крайней мере в ближайших к Земле областях, и служит начальным этапом развития суббурь.

Теория предсказывает ряд признаков, по которым можно судить о наличии магнитного пересоединения. Пересекая линию, проходящую через его область (так называемую X-линию), наблюдатель должен видеть смену знака  $B_z$ -компоненты магнитного поля и изменение направления движения потока плазмы, ускоренного в результате пересоединения. Еще один безусловный признак магнитного пересоединения — специфическое

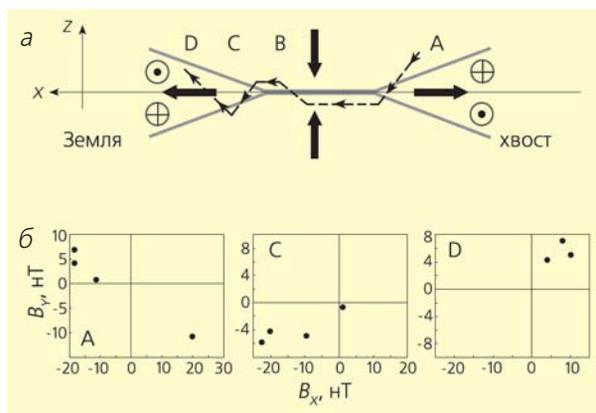


Рис.9. Схема пересоединения силовых линий магнитного поля в хвосте магнитосферы Земли [6] (а). На схеме кружками (пустыми и с крестом) показано квадрупольное распределение  $V_y$ -компоненты магнитного поля (поле направлено на наблюдателя или от наблюдателя) в окрестности X-линии, сформированное в результате эффекта Холла. Штриховой линией показана траектория «Cluster». Измерения четырьмя спутниками «Cluster» компонент  $V_y$  и  $V_x$  магнитного поля в области пересоединения для трех (A, C, D) пересечений квартетом «Cluster» нейтральной плоскости (б). Видно, что при пересечении нейтральной плоскости ( $V_x = 0$ ) знак  $V_y$  меняется на противоположный.

(квадрупольное) распределение знаков компоненты  $V_y$  магнитного поля вокруг X-линии (рис.9). Такое распределение обусловлено эффектом Холла, который состоит в следующем. При пересоединении радиус кривизны силовых линий уменьшается настолько, что становится сравнимым с гирорадиусом ионов. В этом случае ослабляется влияние магнитного поля на движение ионов: ионы «размагничиваются», т.е. перестают двигаться вдоль силовых линий поля, и их движение становится хаотичным. Зато электроны, чей гирорадиус в 40—50 раз меньше ионного, «размагничиваются» позднее и могут дрейфовать почти до самого центра токового слоя. В результате возникает пространственная область с размерами порядка лармовского радиуса ионов, в которой движение ионов и электронов происходит в принципиально различных режимах. Образующееся при этом пространственное разделение зарядов создает электрическое поле, направленное к нейтральной плоскости, в котором электроны дрейфуют и образуют холловскую систему токов. Благодаря последней и формируется квадрупольное распределение  $V_y$  вокруг области пересоединения.

Очевидно, что магнитное пересоединение очень трудно наблюдать экспериментально, особенно если измерения производятся одним спут-

ником. Квартету «Cluster-2» впервые удалось обнаружить признаки пересоединения в ближнем токовом слое геомагнитного хвоста [6]. При последовательном пересечении нейтральной плоскости четырьмя спутниками была зарегистрирована смена направления движения потока ускоренной плазмы, который вначале двигался из хвоста к Земле, а затем стал двигаться от Земли в хвост. Изменение направления движения плазмы сопровождалось изменением радиуса кривизны силовых линий магнитного поля. Все эти признаки указывали на то, что квартет спутников оказался в области X-линии. Токовый слой в это время был очень тонким (толщина ~500 км), и в распределении плотности тока наблюдалась выраженная бифуркация. Изменения компоненты  $B_z$ , зафиксированные четырьмя спутниками, в точности соответствовали изменениям, характерным для эффекта Холла.

### «Реки» и «ручейки» энергии на границе плазменного слоя

Как мы уже обсуждали выше, магнитосфера Земли способна «перерабатывать» энергию, переносимую от Солнца потоками солнечного ветра, перед этим накапливая ее в хвосте. Иначе говоря, хвост магнитосферы — своего рода гигантский магнитоплазменный резервуар, способный в течение некоторого времени удерживать эту энергию в магнитной форме. Рано или поздно избыток накопленной энергии высвобождается, переходя в тепловую и механическую энергию плазмы, т.е. вызывая ее нагрев и ускорение. Сначала считалось, что энергия, запасенная в хвосте, может высвобождаться лишь взрывообразно, порождая магнитные суббури и бури. Однако многочисленные исследования прошедших десятилетий установили, что хвост всегда «живет бурной жизнью» и никогда не находится в спокойном состоянии. В нем все время, даже в абсолютно спокойные геомагнитные периоды, протекают динамические процессы, которые связаны с высвобождением небольших порций энергии. Этой энергии недостаточно, чтобы вызвать магнитосферную суббурю (глобальное изменение магнитной топологии хвоста и мощное ускорение плазмы), но вполне хватает, чтобы ускорить небольшие порции заряженных частиц до значительных скоростей. Так, ионы солнечного ветра, проникающие внутрь магнитосферы, ускоряются в токовом слое геомагнитного хвоста до скоростей, в десятки раз превышающих их начальные скорости. Загадка такого необычайно эффективного ускорения плазмы, происходящего без каких-либо заметных изменений в магнитной конфигурации хвоста, уже в течение нескольких десятилетий стимулирует многочисленные теоретические и экспериментальные исследования.

В конце 80-х годов стало ясно, что ускорение ионов в токовом слое хвоста должно происходить вблизи сепаратрисы, которая разделяет два полупространства с различной топологией магнитного поля — с замкнутыми и открытыми силовыми линиями. Замкнутые силовые линии магнитного поля пересекают токовый слой; они населены горячей плазмой, называемой плазменным слоем. Силовые линии высокоширотной части хвоста открыты: один их конец связан с ионосферой, а другой находится в солнечном ветре. На таких силовых линиях плазма не удерживается и, действительно, эксперименты показывают, что плазменные потоки в этих областях регистрируются достаточно редко. Однако узкая область, которая расположена вдоль границы, разделяющей высокоширотную часть хвоста и плазменный слой, наоборот, почти всегда заполнена движущейся плазмой. В эту область попадают ускоренные в токовом слое вблизи сепаратрисы ионы, которые затем быстро движутся к Земле. Эта переходная область, которая фактически разделяет два полупространства с различными плазменными режимами, была названа пограничной областью плазменного слоя (рис.1). Вначале ученые полагали, что появление потоков ускоренной плазмы на границе плазменного слоя связано с развитием суббурь, т.е. пограничная область формируется только во время активных периодов. Позднее, благодаря многочисленным наблюдениям космических аппаратов «ISEE-1, -2», стало ясно, что данная область существует постоянно, так как наблюдается и в течение длительных спокойных периодов. Движущиеся в ней потоки ускоренных ионов переносят энергию из дальних областей хвоста в околоземную часть магнитосферы (их можно представить себе в виде «рек энергии», текущих из хвоста к Земле). Изучение пространственной структуры и характеристик этих «посланцев» из удаленных от Земли областей магнитосферы позволяет понять, какие процессы происходят в местах их рождения, и насколько существен их вклад в глобальную динамику хвоста, в частности, в процесс развития магнитосферных суббурь. После открытия пограничной области плазменного слоя усилия теоретиков были направлены на поиск источников ускорения ионов в магнитосферном хвосте. Первым на роль такого источника было выбрано крупномасштабное магнитогидродинамическое пересоединение, так называемое пересоединение Петчека, и, соответственно, генерируемые им потоки ускоренной плазмы, которые затем коллимируются вблизи границы плазменного слоя, тоже считались крупномасштабными. В начале 90-х годов на основе крупномасштабной кинетической модели было выполнено численное моделирование ускорительных процессов в дальних областях хвоста. Из результатов следовало, что потоки ускоренных ионов, движущиеся в пограничной области плазменного слоя,

не могут быть крупномасштабными структурами, а должны представлять собой совокупность множества разделенных в пространстве, узких ионных пучков («ручейков энергии»), скорость которых должна увеличиваться с ростом высоты их наблюдения над нейтральным слоем [7]. Эти ионные пучки были названы бимлетами (от англ. слова «beamlet» — набор пучков). По мере усовершенствования техники измерений (увеличивалось временное разрешение приборов) предсказанное теорией существование мелкомасштабных ионных пучков вблизи границы плазменного слоя получало все новые и новые подтверждения: их дали многочисленные наблюдения, выполненные на спутниках «Aureol-3», «Geotail», «Интербол-1, -2» в хвосте и в авроральной области, куда высыпаются движущиеся из хвоста ионы. Причем в ионных потоках, высыпающихся вблизи высокоширотной границы полярного овала (куда проектируется пограничная область плазменного слоя), наблюдалась дисперсия по энергиям в точном соответствии с теорией: более энергичные ионы регистрировались на более высоких широтах (т.е. на больших высотах над нейтральным слоем), чем менее энергичные ионы [8]. Позднее спутники «Cluster-2», производящие измерения с высоким временным разрешением, обнаружили существование еще более мелких субструктур внутри этих дисперсионных ионных потоков [9]. Движущиеся из хвоста потоки ионов достигают Земли и «высыпаются» на краю полярного овала, внося вклад в полярные сияния, ухудшая качество радиосвязи в полярных районах, затрудняя работу приборов на спутниках и атмосферных зондах и т.д. Итак, «безобидным» на первый взгляд ионным потокам и составляющим их более мелким пучкам (бимлетам) принадлежит одна из (возможно, значительных) ролей в совокупности явлений, называемых «космической погодой», которые, хоть и происходят в космическом пространстве, тем не менее, наряду с атмосферной погодой, существенно сказываются на нашей повседневной жизни.

## Как формируются бимлеты

Крупномасштабное гидродинамическое пересоединение, скорее всего, не может быть источником бимлетов — мелкомасштабных локализованных структур. Какой же тогда процесс может ускорить ионы до больших скоростей и одновременно обеспечить мелкомасштабность пучков, наблюдаемых в пограничной области плазменного слоя? На эту роль может претендовать процесс неадиабатического ускорения ионов в токовом слое в дальних областях магнитосферного хвоста. Там из-за малости величины магнитного поля движение ионов, попадающих в токовый слой, уже не контролируется магнитным полем (т.е. становится неадиабатическим): ионы больше не дви-

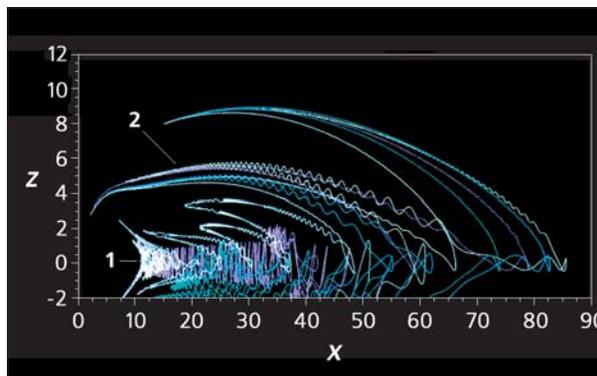


Рис. 10. Траектории, рассчитанные в крупномасштабном кинетическом моделировании движения ионов в дальних областях хвоста магнитосферы [7]. После взаимодействия с токовым слоем ионы могут испытать сильное рассеяние и быть захвачены внутри токового слоя — такие ионы участвуют в формировании токового и плазменного слоев (1), или быть ускорены вдоль силовых линий магнитного поля, вылететь из токового слоя и, образуя пучки (бимлеты), быстро двигаться к Земле в пограничной области плазменного слоя (2). Показано сечение хвоста в плоскости XZ, единица измерения координат — радиус Земли.

жуются вдоль силовых линий магнитного поля, а могут существенно смещаться поперек них — вдоль крупномасштабного электрического поля, направленного поперек хвоста (с утра на вечер), приобретая при этом заметную величину энергии вплоть до нескольких десятков килоэлектронвольт. Причем в зависимости от локальных условий в области взаимодействия с токовым слоем ионы либо испытывают сильное рассеяние и остаются внутри слоя, либо приобретают кинетическую энергию направленного движения вдоль магнитного поля. Такие ионы вылетают из токового слоя в пограничную область плазменного слоя и формируют в ней быстро движущиеся к Земле бимлеты (рис.10) [7]. Логично предположить, что условия, необходимые для генерации бимлетов, в данный момент времени реализуются не всюду в токовом слое, а лишь в пространственно ограниченных областях, и выполняются только в течение какого-то ограниченного времени. Тем не менее, экспериментальных доказательств в пользу ограниченного размера областей ускорения бимлетов и оценок времени их генерации в токовом слое до сих пор не удавалось получить, хотя пучки ионов активно исследовались предыдущими миссиями, в частности, спутниками «Интербол-1, -2». О том, что бимлеты локализованы в пространстве, можно было судить лишь по длительности их наблюдения, которая была очень небольшой: 1—2 мин. Однако, так как все исследова-

ния, как правило, производились одним спутником, нельзя было ответить на вопрос, чем обусловлено короткое время наблюдения этих интереснейших явлений. Тем ли, что генерация бимлетов в хвосте происходит практически мгновенно (т.е. они являются временными структурами), либо тем, что бимлеты в первую очередь локализованы в пространстве, но из-за постоянных колебательных «размахиваний» границы плазменного слоя (так называемый флэппинг) спутник «видит» бимлет лишь в течение нескольких коротких интервалов времени (так как то входит, то выходит из пограничной области в «болтающемся» хвосте)? В пользу последнего предположения свидетельствует тот факт, что внутри бимлета не отмечена дисперсия частиц по времени прихода, или, как ее обычно называют, дисперсия по скоростям: ионы с разными энергиями регистрируются практически одновременно. Если бы генерация ионных пучков происходила мгновенно (т.е. природа явления была бы временной), такая дисперсия обязательно бы возникла: сначала детектора достигли бы более быстрые ионы, затем более медленные. Отсутствие дисперсии можно объяснить лишь тем, что источник генерации бимлетов работает, по крайней мере, в течение такого интервала времени, который достаточен для того, чтобы быстрые ионы, вышедшие из источника позднее, «догнали» самые медленные ионы, вышедшие из источника раньше.

Данные наблюдений спутниками «Cluster-2» добавили уверенности, что бимлеты представляют собой пространственные структуры. Как выяснилось (рис.11,а), на самом деле время наблюдения бимлета превышает 2 мин: на одном отдельно взятом аппарате бимлет действительно наблюдается 1—2 мин, но если аппаратов несколько, видно, что он поочередно регистрируется то одним, то другим спутником. Многоспутниковые измерения позволили изучить довольно сложную пространственную структуру бимлета и определить его характерные размеры. Ранее предполагалось, что бимлеты вытянуты вдоль почти прямолинейных силовых линий магнитного поля. Однако оказалось, что силовые линии магнитного поля, вдоль которых распространяется бимлет, искривлены в пространстве в горизонтальной плоскости (XY) и представляют собой «змейку» (рис.11,б), причем продольный размер бимлета (размер вдоль магнитного поля) в сотни раз превышает его поперечный размер. Искривление силовых линий, «содержащих» бимлет, вызвано развитием шланговой неустойчивости, которая возникает в плазменной структуре, если скорость потока вдоль магнитного поля намного превышает его скорость поперек поля. Сущность этого явления легко понять, если представить себе шланг с большим напором воды (отсюда и название неустойчивости). Такой шланг очень трудно удержать в руках, а если бросить его на газон, он начнет из-

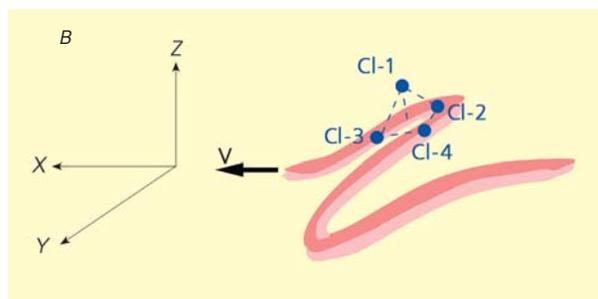
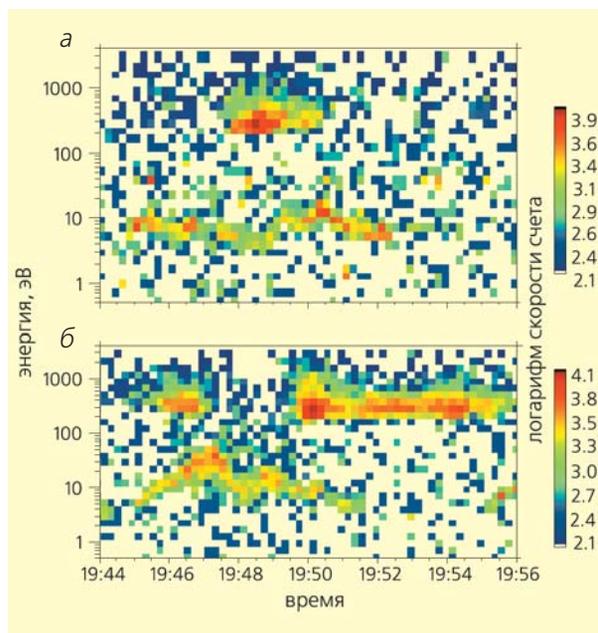


Рис.11. Спектрограммы ионов, движущихся к Земле из геомагнитного хвоста, измеренные спутниками Cl-1 (а), Cl-3 (б). Скорость счета в детекторах показана цветом согласно шкале, представленной в правой части рисунка. Бимлет наблюдался в виде всплеска высокоэнергичных ионов (с энергиями до  $10^4$  эВ) спутниками Cl-4 (не показано на рисунке) и Cl-3 в 19 ч 45 мин 30 с — 19 ч 47 мин, спутником Cl-1 в 19 ч 47 мин 30 с — 19 ч 50 мин и вновь спутниками Cl-4 и Cl-3 в 19 ч 49 мин 30 с — 19 ч 56 мин. Иллюстрация пространственной геометрии бимлета, движущегося к Земле со скоростью  $V$  и пересекающего тетраэдр «Cluster»(в).

виваться. Именно так и выглядит бимлет, только вместо воды у нас есть быстро движущаяся плазма, а вместо газона — плазменный слой, по границе которого движется бимлет. Причем шланговая неустойчивость в бимлете возникает сразу же при выходе ионов из токового слоя в дальних областях хвоста, так как условия для ее возникновения предпочтительнее вдали от Земли, чем вблизи (где мы наблюдаем бимлет). Таким образом, вырисовывается следующая картина процесса ускоре-



Рис.12. Сценарий генерации бимлетов в токовом слое хвоста магнитосферы Земли. С точки зрения процессов превращения энергии, токовый слой не однороден, а состоит из перемежающихся областей повышенного рассеяния ионов (заштрихованные овалы) и областей импульсного ускорения плазмы (белые овалы). Причем деление на эти области не стационарно, картина все время меняется — то в одной, то в другой части токового слоя вспыхивают новые или распадаются старые области импульсного ускорения бимлетов. Римскими цифрами показаны области магнитосферы: I — мантия; II — высокоширотная часть хвоста; III — пограничная область плазменного слоя; IV — плазменный слой.

ния ионов в токовом слое геомагнитного хвоста. Ионы ускоряются в пространственно ограниченных областях, размер которых не превышает нескольких тысяч км (маленький поперечный размер бимлетов доказывает этот факт), процесс ус-

корения длится около 10 мин. В результате при выходе бимлета из токового слоя в высокоширотные доли хвоста в силовых трубках магнитного поля, заполненных «бимлетной» плазмой, возникает шланговая неустойчивость, которая делает их похожими на колеблющуюся струну. Образно бимлеты можно представить в виде змейки, вытянутой вдоль силовых линий магнитного поля (рис.12) [10].

\* \* \*

Первоначально был установлен пятилетний срок работы спутников «Cluster-2». Окончание миссии запланировано на декабрь 2005 г., но есть большая вероятность, что проект будет продлен еще на несколько лет. С каждым годом российские ученые все активнее включаются в совместные с европейскими исследователями работы по анализу данных «Cluster-2». Кроме того, в Европе, Америке и Японии готовятся к старту новые спутниковые миссии: «Swarm» («Стая»), MMS (Magnetospheric MultiScale mission — Многомасштабная магнитосферная миссия), обсуждается подобный проект «Рой» и в России. Все эти проекты продолжат линию многозондовых исследований околоземного космического пространства, столь успешно развивающуюся в последние десятилетия благодаря спутникам «Интербол» и «Cluster». ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 04-02-1737); Министерства образования и науки РФ (проект НШ-17 39.2003.2); Фонда INTAS (гранты YS Fellowship № 03-55-1880; № 00-04-65; № 03-51-3738) и Фонда содействия отечественной науке (программа «Кандидаты наук РАН»).**

## Литература

1. Glassmeier K.-H., Motchmann U., Dunlop M. et al. // Annales Geophysicae. 2001. V.19. P.1439-1447.
2. Newell P.T. // Nature. 2003. V.424. P.734.
3. Nakamura R., Baumjohann W., Runov A., et al. // Geophysical Research Letters. 2002. V.29. №23. P.2140-2144.
4. Runov A., Nakamura R., Baumjohann W. et al. // Geophysical Research Letters. 2003. V.30. №2. P.1036-1040.
5. Зеленый Л.М., Малова Х.В., Попов В.Ю. // Письма в ЖЭТФ. 2003. Т.78. Вып.5. С.742.
6. Runov A., Nakamura R., Baumjohann W. et al. // Geophysical Research Letters. 2003. V.30. №11. P.1579-1583.
7. Ashour-Abdalla M., Berchem J.P., Buchner J., Zelenyi L.M. // Journal Geophysical Research. 1993. V.98. P.5651-5676.
8. Zelenyi L.M., Kovrazhkin R.A., Bosqued J.M. // Journal Geophysical Research. 1990. V.95. P.12119-12139.
9. Sauvaud J.-A., Kovrazhkin R.A. // Journal Geophysical Research. 2004. V.109. P.12213-12230.
10. Зеленый Л.М., Григоренко Е.Е., Федоров А.О. // Письма в ЖЭТФ. 2004. Т.80. Вып.10. С.771.

# Одноклеточные альтруисты

А.В.Гордеева, Ю.А.Лабас

**А**льтруизм (от лат. alter — другой) — нравственный принцип, заключающийся в бескорыстном служении другим людям, в готовности жертвовать для их блага личными интересами. Такое определение альтруизма дал французский философ Огюст Конт. «Vivre pour autrui» (жить для другого) имеет русский аналог: «Сам погибай, а товарища выручай».

Альтруистическое поведение присуще не только людям, но и высшим животным. Обычно животные проявляют альтруизм, предупреждая собратьев об опасности. Особь, подавшая сигнал к бегству, часто привлекает к себе внимание хищника и становится его жертвой.

Оказалось, что альтруисты встречаются на всех уровнях организации живой материи, начиная с клеточного. Ради блага организма гибнут не только отдельные клетки, но и целые органы. Этот процесс мы видим всякий раз, когда наблюдаем превращение головастиков в лягушат, ловим ящериц или гуляем по осеннему лесу. Альтруизм свойствен, например, клет-



*Анна Викторовна Гордеева, аспирантка Института биохимии им.А.Н.Баха РАН. Научные интересы связаны с эволюционной физиологией и биохимией животной клетки.*



*Юлий Александрович Лабас, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник того же института. Научные интересы — физиология и биохимия беспозвоночных животных.*

кам яблочной плодоножки. Ведь если бы все яблоки оставались на ветвях, как бы они размножались? Запрограммированная смерть клеток получила название «апоптоз», что в переводе с греческого означает «листопад».

В последние годы выяснилось, что совершают самоубийство и одноклеточные организмы. Каковы у них механизмы и назначение этого процесса? Как клетки «научились» организованно погибать «по команде» и по какой именно? Этим вопросам и посвящена наша статья. Но вначале рассмотрим, зачем, почему и каким образом совершают самоубийства клетки многоклеточных.

© Гордеева А.В., Лабас Ю.А., 2005

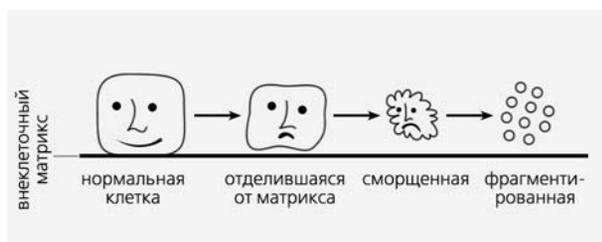
Статья представляет собой переработанный и сокращенный вариант публикации этих же авторов (в соавторстве со Звягильской Р.А.): Апоптоз одноклеточных организмов: механизмы и эволюция // Биохимия. 2004. Т.69. №10. С.1301—1313.

## Зачем и почему

Для чего многоклеточному организму может понадобиться гибель отдельных его клеток? Примеры ее использования во благо целого организма мы уже приводили, когда говорили об осенних листьях и яблоках, о хвостах головастика и ящериц. Белые кровяные клетки — макрофаги — заглатывают болезнетворных бактерий и, совершая самоубийство, убивают их вместе с собой. Образование пальцев у эмбриона происходит оттого лишь, что гибнут клетки в межпальцевых перегородках. Когда клетки соединительной ткани начинают превращаться в раковые, здоровые соседние клетки принудительно отправляют их в апоптоз.

Разумеется, не всегда запрограммированная смерть клеток приносит явную пользу. В отдельных случаях, таких как массовая гибель еще не сформировавшихся яйцеклеток в яичниках эмбрионов, ее назначение непонятно. Апоптоз клеток головного мозга при болезни Альцгеймера (старческом слабоумии) причиняет явный вред организму. Но в подавляющем большинстве случаев апоптоз ответствен за формообразовательные процессы, за избавление от клеток с измененным генетическим материалом или зараженных. Следовательно, для нормальной жизнедеятельности он действительно необходим.

Как отличить клетку-самоубийцу? Такие клетки отделяются от внеклеточного матрикса, их мембраны сморщиваются, ядра сжимаются, молекулы ДНК рвутся на мелкие кусочки и в итоге образуются так называемые апоптозные тельца — мембранные пузырьки с клеточным содержимым. Принимая роковое решение, клетка заблаговременно сама готовит себя к погребению: вызывает «ритуальных агентов», роль которых исполняют макрофаги или соседние клетки. Один из липидов внутреннего слоя клеточной мембраны, фосфатидилсерин, переходит во внешний слой. Макрофаги постоянно выделяют особый гликопротеин MFG-E8 (milk fat globule-EGF-factor 8 — фактор роста эпидермальных клеток-8 из жировых глобул молока), который специфически связывается с фосфатидилсерином на поверхности клеток, вступающих в апоптоз. Образующиеся комплексы фосфатидилсерина с MFG-E8 и служат теми мет-



Схема, иллюстрирующая морфологические изменения клетки при апоптозе.

ками, по которым узнают будущих самоубийц. Макрофаги сбегаются к таким клеткам и быстро поглощают образовавшиеся апоптозные тельца.

Есть и другой вид запрограммированной смерти, еще недавно не считавшийся таковым, — некроз. При некрозе клетка не съеживается, а, напротив, набухает; то же происходит и со всеми ее органеллами. Это приводит к нарушению целостности всех мембранных структур, в первую очередь лизосом, и, как следствие, к автолизу. Содержимое клетки вместе с активными протеолитическими ферментами изливается в межклеточное пространство, повреждая все вокруг себя. Этот процесс сопровождается воспалительными заболеваниями, ожоговую болезнь и т.д., иначе говоря, все случаи, когда гибельные стимулы слишком сильны для того, чтобы клетка успела достойным образом подготовиться к смерти. Такой способ самоубийства вряд ли можно считать альтруистическим, поэтому мы не будем на нем останавливаться.

Почему же клетка решает умереть? По приведенным примерам можно судить о причинах, побуждающих клетку к суициду. Убивают себя либо уже больные клетки, либо те, гибель которых в данном месте в данное время выгодна организму. Если больная клетка «не хочет» сама совершать самоубийство, ее могут побудить к этому соседи.

## Не шесть орудий самоубийства

Клетка узнает, что должна покончить собой, получив «извещение о предстоящей смерти». Роль таких извещений выполняют специальные **сигнальные белки**, в число которых входит и фактор некроза опухолей, выделяемый макрофагами. Приемниками сигнальных молекул служат рецепторные белки, расположенные на поверхности клеток и называемые «рецепторами смерти». Действие этих сигналов опосредовано особыми протеолитическими ферментами (**каспазами**) и адаптерными белками, которые помогают им связаться с рецепторным комплексом.

У млекопитающих семейство каспаз состоит из 14 постоянно синтезируемых белков. Неактивная каспаза, или прокаспаза, построена из четырех частей: N-концевого домена, большой и малой субъединиц и короткой связующей области между ними. Чтобы прокаспаза превратилась в активный фермент, связующая область и N-концевой домен отщепляются, и образуется гетеродимер из большой и малой субъединиц. Из двух таких димеров и формируется активная каспаза. При апоптозе сначала активируются инициаторные каспазы (-2, -8, -9, -10, -12), а затем, с их помощью, эффекторные (-3, -6, -7). Эти последние расщепляют опорно-двигательные структуры клетки, подавляют биосинтез белков и приводят в действие эндонуклеазу — фермент, расщепляющий ДНК. Остальные каспазы (-1, -4, -5, -11, -13, -14) при-

мают участие в развитии воспалительных процессов, а также, наряду с эффекторными каспазами, в формировании эпителиальных клеток хрусталика, кератиноцитов (клеток верхнего слоя кожи) и т.д.

После того как сигнальная молекула связалась с «рецептором смерти», с помощью адаптерного белка к ним присоединяется прокаспаза-8. Став в результате этого работающим ферментом, она активирует прокаспазу-3, стоящую на пересечении двух путей запуска апоптоза — рецепторного и митохондриального. Роль каспазы-3 — расщепление опорных клеточных структур.

Митохондрии, эти клеточные органеллы с двойной мембраной, обладают, как известно, собственным геномом и способны автономно размножаться. Внутренняя мембрана образует глубокие складки — кристы. В ограниченном ею пространстве, митохондриальном матриксе, находятся ферменты энергетического метаболизма. Митохондрии обеспечивают всю клеточную жизнь, поскольку служат энергетическими станциями: здесь энергия питательных субстратов запасается в доступной для клетки форме, в виде аденозинтрифосфата (АТФ). Он синтезируется за счет энергии, высвобождающейся при переносе электронов с атомов водорода, образовавшихся при переработке субстратов, на конечный акцеп-

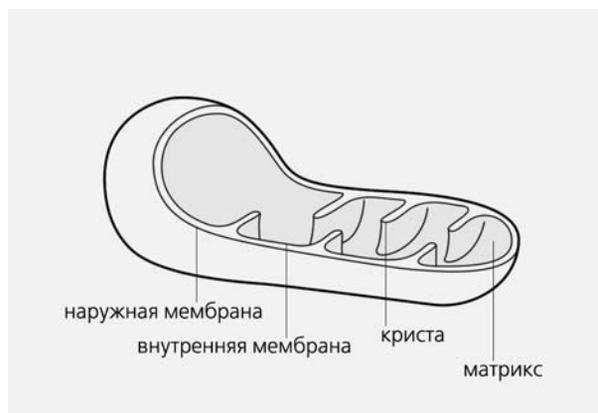


Схема строения митохондрии.

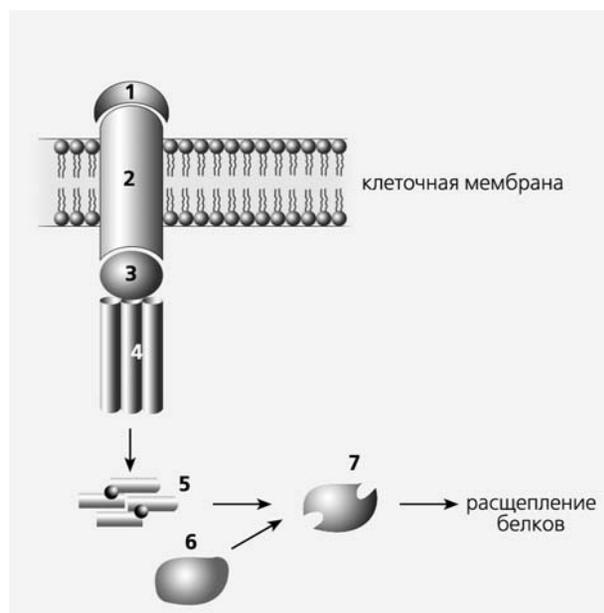
тор — кислород. Белки, переносящие электроны, встроены во внутреннюю мембрану митохондрий и образуют электронтранспортную цепь (ЭТЦ). Ее конечный элемент — цитохром *c*-оксидаза — и передает электроны от цитохрома *c* на кислород (это клеточное дыхание).

Протоны, оставшиеся после отрыва электронов от атомов водорода, за счет энергии электронного транспорта выталкиваются из матрикса в межмембранное пространство. Возникающая при этом разность концентраций (градиент) ионов  $H^+$  создает мембранный потенциал митохондрий ( $\Delta\psi_m$ ), энергия которого и используется для фосфорилирования аденозиндифосфата (АДФ).

Фермент АТФ-синтетаза, катализирующий образование АТФ из АДФ и неорганического фосфата, представляет собой встроенное во внутреннюю мембрану грибовидное тельце с каналом в центре. Когда ион  $H^+$  прорывается по этому каналу в матрикс, энергия протонного тока идет на синтез АТФ. Других путей возвращения в матрикс у протона нет, поскольку в нормальном состоянии внутренняя мембрана непроницаема для ионов. Процесс синтеза АТФ за счет энергии переноса электронов называется окислительным фосфорилированием.

В матриксе протоны соединяются с кислородом, восстановленным в ходе работы электронтранспортной цепи, и образуется вода. Но если он восстанавливается не полностью, появляются **активные формы кислорода (АФК)**: супероксидный радикал ( $O_2^{\cdot-}$ ), перекись водорода ( $H_2O_2$ ) и гидроксильный радикал ( $\cdot OH$ ). В митохондриях образование АФК, этого побочного продукта, усиливается при повышении скорости потока электронов, увеличении концентрации кислорода и разобщении дыхания и окислительного фосфорилирования веществами, которые вызывают проницаемость внутренней мембраны.

Органеллы, обеспечивающие жизнедеятельность клетки, обеспечивают и ее смерть. При



Рецепторный путь апоптоза. Сигнальная молекула (1) связывается с «рецептором смерти» (2) и далее через адаптерный белок (3) — с прокаспазой-8 (4), после чего она превращается в активный фермент каспазу-8 (5). Она активирует в свою очередь прокаспазу-3 (6), которая, став действующим ферментом (7), расщепляет клеточные белки, и клетка погибает.

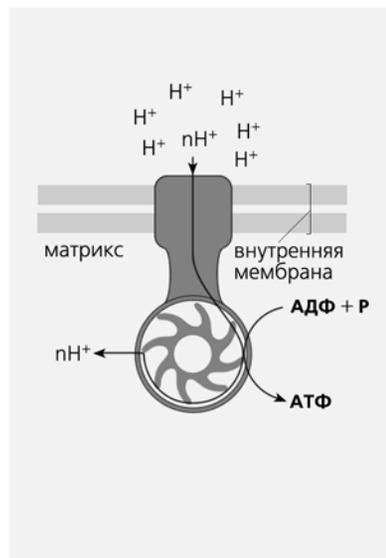
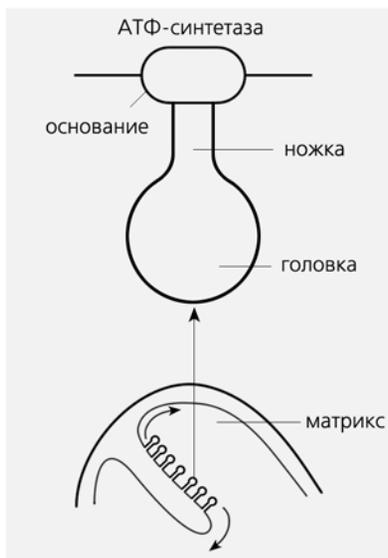
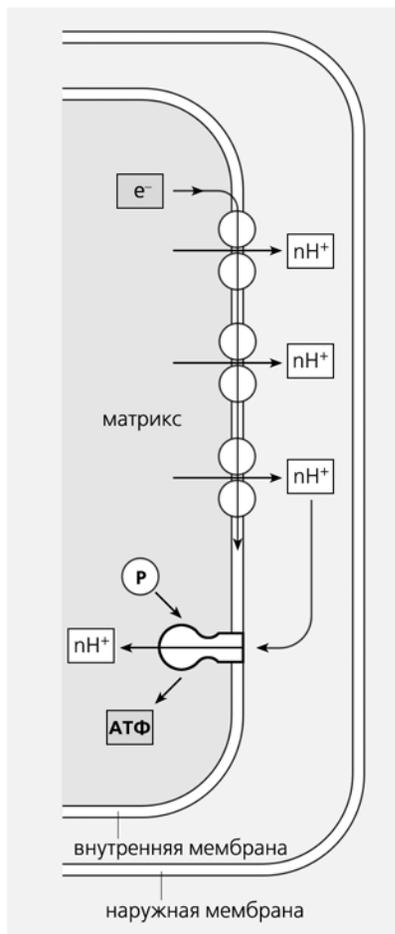
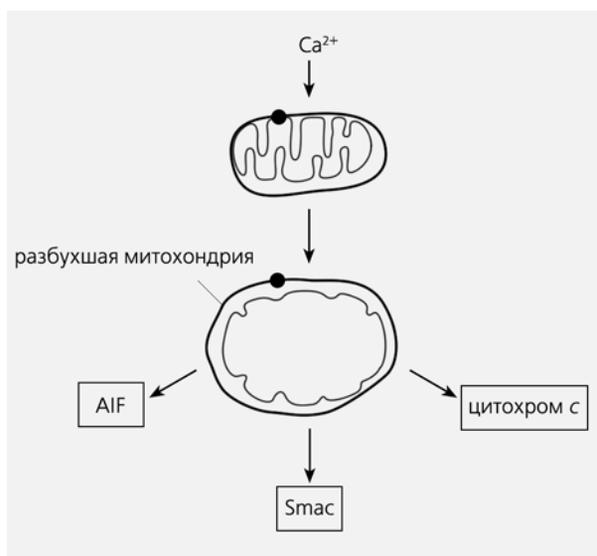


Схема окислительного фосфорилирования (слева), в ходе которого синтезируется АТФ. Высокоэнергетические электроны проходят по переносящей их цепи, и часть высвобождаемой при этом энергии используется для откачивания протонов из матрикса. На внутренней мембране возникает электрохимический протонный градиент, благодаря чему  $H^+$  снова возвращаются в матрикс через АТФ-синтетазу. Этот фермент использует энергию протонного тока для синтеза АТФ из АДФ и неорганического фосфата (P). На рисунке приведены также схема строения АТФ-синтетазы (в середине) и модель действия этого фермента.

сильном стрессовом воздействии (переохлаждении; нагревании; стимуляции образования АФК другими структурами клетки, помимо митохондрий; перекисном окислении липидов плазматической мембраны — чаще всего при облучении) в цитоплазме резко повышается концентрация ионов **кальция**. Если кальциевые депо клетки не справляются с его утилизацией, открывается так называемая **митохондриальная пора** диаметром 2.6—2.9 нм. Она представляет собой канал, проходящий через обе митохондриальные мембраны и состоящий из трех белков: транслокатора адениновых нуклеотидов, потенциалзависимого анионного канала (порина) и бензодиазепинового рецептора. Когда этот комплекс связывается с  $Ca^{2+}$ , через мембранную пору могут проходить вещества с небольшой молекулярной массой. Это приводит к падению мембранного потенциала и набуханию матрикса, целостность внешней мембраны неизбежно нарушается, и из межмембранного пространства в цитоплазму выходят белки апоптоза. Их несколько: фактор, индуцирующий апоптоз (apoptosis-inducing factor — **AIF**), вторичный митохондриальный активатор каспаз (second mitochondria-derived activator of caspases — **Smac**) и некоторые прокаспазы. Инду-



Фрагмент схемы апоптоза, протекающего по митохондриальному пути. Под действием избытка ионов кальция митохондрия разбухает, через пору из нее выходят цитохром c и два белка — AIF и Smac. Первый белок индуцирует апоптоз, а второй активирует некоторые прокаспазы.

цирующий фактор направляется прямо в ядро, где вызывает деградацию ДНК.

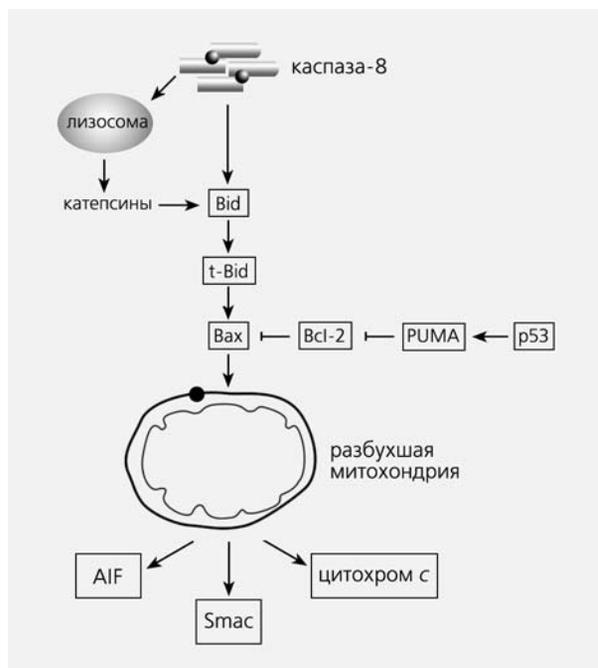
Наряду со специфически апоптозными белками, из митохондрии через открытую пору выходит **цитохром с**, который в норме служит конечным звеном электротранспортной цепи. В цитоплазме этот белок связывается с белком **Araf-1** (apoptotic protease activating factor-1 — активирующий протеазу фактор-1) и формирует **апоптосомный комплекс**. Он с помощью Smac и еще одного фактора (**Omi/HtrA2**) активирует прокаспазу-9, та, став каспазой-9, превращает два других профермента в каспазы-3 и -7; а они уже расщепляют структурные белки, приводя к появлению биохимических и морфологических признаков апоптоза. В числе первых можно назвать, в частности, переход фосфатидилсерина в наружный мембранный слой и фрагментацию ДНК. Из вторых признаков наиболее характерны «отшелушивание» клетки от матрикса, сморщивание мембраны, сжатие ядра и формирование пузырьков с клеточным содержимым — апоптозных телец.

Цитохром с электростатически и гидрофобно связан с внутренней мембраной митохондрий через фосфолипиды, преимущественно через кардиолипин. Электростатически взаимодействуют между собой положительно заряженные остатки аминокислоты лизина в цитохроме и отрицательно заряженные фосфатные группы в кардиолипине. За счет гидрофобного взаимодействия между углеродной цепью этого фосфолипида и гидрофобными участками молекулы цитохрома еще более укрепляется связь фермента с митохондриальной мембраной, что обеспечивает даже его частичное погружение в ее слой.

Следовательно, для выхода цитохрома с в цитоплазму одного лишь нарушения целостности митохондриальной мембраны недостаточно. Электростатически связанный цитохром с может оторваться от кардиолипина, если изменяется ионная сила, плотность поверхностного заряда или pH, а связанный гидрофобно — за счет окислительной модификации митохондриальных липидов. Последнюю реакцию можно как раз и вызывают активные формы кислорода, которые неизбежно образуются при любых сильных воздействиях (стрессах), а открывание поры усиливает этот процесс.

Однако цитохром с не всегда нужен для запрограммированной смерти. Апоптоз в сердечной ткани, например, вообще протекает без этого фермента, он так и не выходит из межмембранного пространства.

Цитохром с может высвобождаться в ответ на повышение концентрации ионов  $Ca^{2+}$ , которое вызывает открывание поры. Но выход фермента «на свободу» может и не зависеть от этих ионов, тогда процесс контролируют **белки семейства Bcl-2** (B-cell leukaemia-2 — лейкемия В-клеток-2). Именно они регулируют апоптоз на уровне митохондрий. Одни из белков этого большого семей-



Фрагмент схемы апоптоза, протекающего под контролем белков семейства Bcl-2, а также с участием p53. Объяснения в тексте.

ства (Bcl-2, а также Bcl-xL, Bcl-w, Mcl-1, Al и Boo) предотвращают апоптоз; другие (Bax, Bad, Bcl, Bcl-xS, Bak, Bid, Bik, Bim, Krk, и Mtd) способствуют самоубийству. Вот один пример работы белков этого семейства регуляторов. Цитозольный белок **Bid** расщепляется каспазой-8, активируемой через «рецепторы смерти», и лизосомными протеазами **катепсинами**, чей выход из лизосом стимулирует эта же каспаза. Образовавшийся активный белок — усеченный Bid (truncated Bid — t-Bid) — изменяет конформацию другого проапоптозного белка, **Bax**, после чего тот встраивается во внешнюю мембрану митохондрий, где формирует комплекс с порином. Вместе они выстилают канал, по которому из межмембранного пространства выходят цитохром с и проапоптозные белки. Но если в дело вмешивается Bcl-2, действующий как антиоксидант, выход цитохрома блокируется.

В запуске апоптоза, вызванного повреждением ДНК, активацией онкогенов и гипоксией, принимает участие белок-53 (**p53**), взаимодействуя с Bax, стимулируя «рецепторы смерти» и апоптозные гены. p53 активирует модулятор суицида **PUMA** (p53 upregulated modulator of apoptosis), который затем связывает Bcl-2 и выводит из строя этот препятствующий апоптозу белок. Тем самым выход цитохрома с из митохондрий уже ничем не сдерживается.

Некоторые белки, связывающие ионы кальция, например **ALG-2**, кодируемый одноименным ге-

ном (apoptosis-linked gene-2), тоже принимают участие в запрограммированной смерти. Так, взаимодействием ALG-2 и белка **Alix** (ALG-interacting protein X, известный и как AIP1) осуществляется регуляция апоптоза. Часть сложной молекулы ALG-2 представляет собой еще один апоптозный белок кальпоин.

**Кальпоины** специфически расщепляют белки, содержащие области, называемые PAST-мотивами и богатые остатками четырех аминокислот — пролина (P), аспарагиновой кислоты (A), серина (S) и треонина (T). (Среди этих белков — фермент ДНК-лигаза, у которого такой мотив находится в N-концевой области.) Кроме того, кальпоины освобождают каспазы от связанных с ними **ингибиторов апоптозных белков** (inhibitors of apoptosis proteins, IAPs).

Впервые обнаруженные у вирусов, гомологи IAP позже были найдены у всех эукариот, от дрожжей до млекопитающих. У последних открыто восемь представителей этого семейства ингибиторов, и каждый имеет от одного до трех 70-аминокислотных участков, называемых BIR-доменами (baculoviruses inhibitor of apoptosis repeat domains — повторяющиеся домены бакуловирусного ингибитора апоптоза). Кодированный X-хромосомой IAP (XIAP) и клеточные ингибиторы апоптозных белков (cellular inhibitors of apoptosis protein; cIAP1, 2) содержат по три N-концевых BIR-домена и C-концевой RING-домен, кодируемый геном *ring* (really interesting new gene — действительно интересный новый ген). Эти белки ингибируют каспазы-3, -7, -9: BIR-домены целенаправленно связываются с ними, блокируя их активные центры; RING-домен обеспечивает деградацию каспаз, пришивая к ним «черную метку» — 76-аминокислотный белок убиквитин. Присоединившие его белки подвергаются расщеплению протеасомой\*.

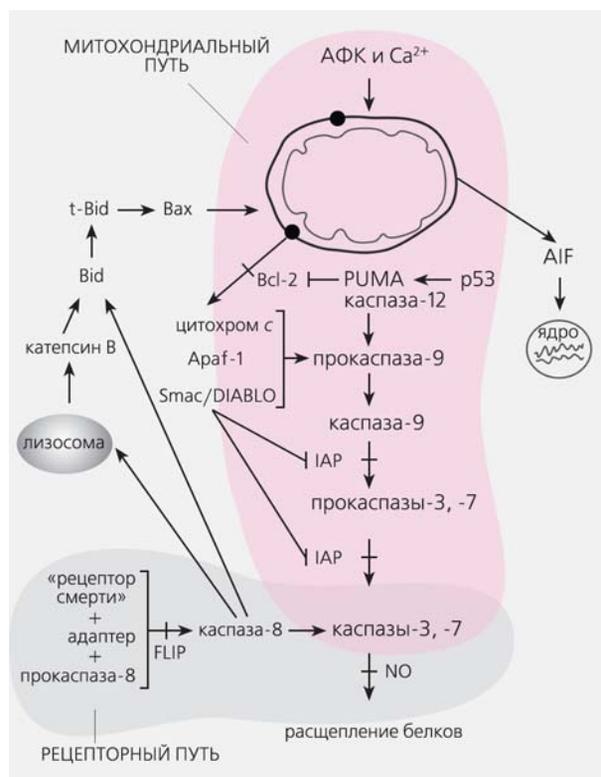
Есть и другой эндогенный ингибитор каспаз — FLIP (FLICE-inhibitory protein). Он взаимодействует с пособниками суицида — сигнальными комплексами, блокируя активацию прокаспазы-8 и передачу проапоптотического сигнала от «рецепторов смерти».

Как все ингибиторы протеаз, XIAP, cIAP1 и cIAP2 сами подвержены отрицательной регуляции. В частности, митохондриальный полипептид Smac/DIABLO (direct IAP-binding protein with low pI — белок с низкой pI, прямо связывающий IAP), выходя из митохондрий в цитозоль, связывается с ингибиторами XIAP, cIAP1 и cIAP2 и мешает им взаимодействовать с каспазами. Но XIAP, cIAP1 и 2 способны противостоять ингибирующему действию Smac/DIABLO, присоединяя к нему убиквитин — сигнал для деградации. Одна из изоформ Smac/DIABLO, Smac3, сама стимулирует присое-

динение убиквитина к XIAP. В высоких концентрациях каспазы-3 и -7 могут расщеплять XIAP и без посредников.

Как видим, клетка никогда не бросается в апоптоз без «раздумий». Она сначала задает себе гамлетовский вопрос: «Быть или не быть?». Ответ на него зависит от соотношения про- и антиапоптозных белков; между ними идет борьба, и побеждает та сторона, которая успевает навесить на другую «черную метку» — убиквитин. А протеазам совершенно все равно, на ком эта метка — они беспристрастно расщепляют меченые белки. Таким образом, выбор клетки между жизнью и смертью зависит не столько от внешних обстоятельств, сколько от ее собственного внутреннего состояния. Даже если организм приказывает клетке погибнуть, она подчиняется ему только в том случае, когда сама расположена к такому исходу. Бывают мутанты, которые категорически не хотят умирать, при том что все внешние обстоятельства побуждают их к суициду — как правило, это раковые клетки.

Мы перечислили все виды орудий самоубийства, которыми клетка многоклеточного организма пользуется, когда он приказывает и когда она сама того хочет. Но следует понимать, что их действие неоднозначно. Например, кальций и активные формы кислорода участвуют во всех без исключения процессах жизнедеятельности как вто-



Общая схема «классического» апоптоза млекопитающих.

\* Об этом специфическом пути деградации белков см.: Абрамова Е.Б., Картов В.Л. Протеасома: разрушение во имя созидания // Природа. 2003. №7. С.36—45.

ричные посредники в передаче сигналов и регулируют все функции клетки: размножение, дыхание, обмен веществ, движение, рост. Тот же кальций способен, в частности, активировать антиоксидантные ферменты, защищающие клетку от окислительного стресса. АФК в микромолярных концентрациях необходимы для пролиферации клеток, их подвижности и хеморецепции; более того, некоторые виды (например, NO) даже блокируют апоптоз посредством избирательного нитрозилирования эффекторных каспаз. Да и каспазы тоже могут выполнять вполне «мирные» функции — управлять дифференцировкой некоторых типов клеток.

Таким образом, лишь немногие из орудий самоубийства служат только этой цели: большинством из них клетка пользуется и в «домашнем быту». Возникает вопрос: а все ли они необходимы для совершения суицида? И если нет, то зачем производить столь непомерный арсенал орудий? На эти вопросы мы сможем ответить, когда рассмотрим специфику протекания запрограммированной смерти у одноклеточных организмов.

## Суицид у одноклеточных

Практически у всех простейших организмов внешние признаки апоптоза те же самые, что у клеток многоклеточных, и, как у них, к гибели приводят разные причины. У одноклеточных водорослей ее вызывает отсутствие света или окислительный стресс, а предотвращают ингибиторы каспаз и антиоксидантный фермент, расщепляющий  $H_2O_2$ , — каталаза (каспазы у них тоже выявлены — с помощью антител). Паразитические жгутиконосцы кончают жизнь самоубийством, если им помогают ингибитор протеинкиназы С ставроспорин (он же стимулирует апоптоз и в клетках млекопитающих) и перекись водорода, а предотвращают тоже ингибиторы каспаз. Экстракт цитоплазмы паразитического простейшего *Leishmania major* в опытах вызывал характерные для апоптоза изменения в изолированных ядрах млекопитающих, свидетельствуя о присутствии в нем AIF-подобных белков. Изолированные митохондрии *L.major* теряли цитохром *c* при инкубации с рекомбинантным Вах человека даже тогда, когда Вах был лишен трансмембранного домена, необходимого для встраивания в наружные мембраны митохондрий. Следовательно, у *L.major* есть белки, способные взаимодействовать с Вах.

У дрожжей найдены практически все орудия суицида, имеющиеся у многоклеточных, кроме лизосомальных катепсинов и представителей семейства Bcl-2. Тем не менее, гены проапоптозных белков млекопитающих при экспрессии в дрожжах вызывают их запрограммированную гибель, а Bcl-2 защищает пекарские дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*) от гибели, вызванной окислительным

стрессом. У *Shizosaccharomyces pombe* найден Rad9-белок, содержащий последовательность аминокислот, необходимую для взаимодействия с Bcl-2.

К апоптозу дрожжей приводят вещества, которые они сами же и продуцируют: например, уксусная кислота (продукт брожения), перекись водорода или  $\alpha$ -фактор — пептидный половой феромон, вырабатываемый  $\alpha$ -типом гаплоидных клеток *S.cerevisiae*. При концентрации  $<1$  мкМ этот феромон стимулирует конъюгацию клеток противоположного типа спаривания с дрожжами  $\alpha$ -типа, а при более высокой — вызывает блокаду клеточного цикла и апоптоз. Мутация активируемой феромоном протеинкиназы предотвращает и смерть, и появление ее маркеров.

Слизистые грибы (миксомицеты) — уникальные организмы, проходящие в своем развитии одно- и многоклеточную стадии. Когда в почве достаточно питательных веществ, миксомицеты существуют в виде отдельных амeboобразных клеток — миксамеб. Во время голодания они сползаются и образуют одно большое клеточное скопление — плазмодий. Некоторое время он ползает по субстрату, а потом останавливается и начинает формировать плодовое тело. Часть его клеток при этом превращается в споры, а часть — в стебельковые клетки, выполняющие опорную функцию. Именно они подвергаются запрограммированной гибели, в целом похожей на классический апоптоз, но сопровождающейся интенсивным появлением вакуолей. Интересно, что ДНК стебельковых клеток не распадается на фрагменты. Ингибиторы каспаз не препятствуют гибели клеток, но нарушают нормальное развитие плодовых тел. У амёб *Dictyostelium discoideum* найдены гомологи четырех белков, участвующих в запрограммированной смерти клеток многоклеточных организмов: AIF, Alix и два ALG-2. Примечательно, что гены обоих гомологов ALG-2 экспрессируются в растущих миксамебах. Мутанты, лишённые одного или обоих этих генов, формируют нормальные плодовые тела, однако мутанты по гену *alix* имеют ярко выраженные дефекты развития.

У инфузорий есть все виды орудий самоубийства (в том числе каспазы-8 и -9, но не -3), кроме белков семейства Bcl-2 (пока их просто не искали). Инфузория *Paramecium tetraurelia* синтезирует катепсины L и S. У *Tetrahymena pyriformis*, штамма W, найден катепсин B.

Таким образом, как мы видим на примере самых примитивных простейших, для запуска апоптоза в принципе достаточно двух компонентов: активной формы кислорода и хотя бы одной цистеиновой протеазы, т.е. каспазы. В этой связи отметим, что инициаторные каспазы в ходе эволюции возникают раньше, чем эффекторные; последние не найдены ни у кого из простейших. У большинства эукариот ведущая роль в стимуляции апоптоза принадлежит митохондриальным

факторам — цитохрому *c* и AIF. Тем не менее, не имеющий митохондрий паразит мочеполовой системы человека *Trichomonas vaginalis* каким-то образом обходится без обоих факторов. Отсутствие гомологов ALG-2 у слизистых грибов не нарушает образования плодовых тел, из чего следует, что и эти белки необязательны для апоптозного процесса. Следовательно, большинство белков, принимающих участие в запрограммированной смерти, предназначено для более тщательной ее регуляции. А тщательность вряд ли была бы возможна при малом количестве звеньев.

\* \* \*

Биологический смысл существования сразу нескольких систем запуска апоптоза, по-видимому, в том, чтобы его могли независимо друг от друга побуждать стимулы разного рода: повреждение генома, стрессовые воздействия, необходимость для организма в целом и т.д. Прimitивным одноклеточным организмам просто не нужна столь многокомпонентная система стимуляции апоптоза, они гибнут только при стрессовых воздействиях, потенциально опасных для генома и, следовательно, для популяции в целом. Многоклеточному же организму необходимо, чтобы клетки

- были всегда готовы покончить с собой по его приказу там, где это потребуется;
- сами принимали такое решение при возникновении неполадок в собственном геноме или при угрозе их появления.

Для этого и нужно, чтобы апоптоз могли запустить и специальные сигнальные молекулы (через «рецепторы смерти»), и повышение уровней АФК и цитоплазматического кальция (всегда сопровождающее любые стрессы), и повреждение генома.

Функции апоптоза у организмов разных уровней филогенеза, по-видимому, общие. У одноклеточных организмов этот вид гибели служит не только эффективным средством очистки сообщества от мутантных (дефектных) особей, но и обеспечивает процессы морфогенеза — например, при образовании плодовых тел у слизистых грибов. Недостаток в питании вызывает смерть стареющих и поврежденных дрожжевых клеток, чтобы их молодые и здоровые потомки могли жить безбедно. Однако если питательные вещества полностью отсутствуют (как, например, в дождевой воде), альтруизм теряет смысл и апоптоз не включается. У дрожжей запрограммированную смерть стимулируют факторы, которые накапливаются по мере повышения плотности культуры — уксусная кислота, перекись водорода и  $\alpha$ -фактор. Вероятно, таким способом поддерживается оптимальная плотность популяции. У инфузорий *Tetrahymena thermophila* апоптоз, наоборот, наступает при низкой плотности — потому, вероятно, что этим простейшим для нормального существования необходима высокая плотность, облегчающая конъюгацию. У дрожжей смертельный процесс запускается феромоном, т.е. тем же веществом, что и спаривание — видимо, для того, чтобы девственные (т.е. с большой вероятностью ущербные) клетки не отнимали питание у тех, кто здоров и может спариваться. Так что альтруизм — жертвование собой ради ближнего — свойство, присущее даже одноклеточным. ■

**Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований. Проект 05-04-49316.**

Подробный отчет об археологических раскопках, проведенных в 10 пунктах неподалеку от г.Кумран (западное побережье Мертвого моря), составили недавно израильские археологи Я.Пелег и И.Маген (Y.Peleg, I.Magen). В середине прошлого века в здешних пещерах были найдены знаменитые кумранские рукописи, авторство которых специалисты приписывают членам секты ессеев,

проживавшим здесь во II в. до н.э. — I в. н.э. Считается, что по своим убеждениям община вела практически монашеский образ жизни. Однако найденные ныне монеты, расписные гончарные изделия, множество различных украшений заставляют усомниться в этом предположении.

Sciences et Avenir. 2004. №692. P.32 (Франция).

В 2003 г. было официально признано открытие 111-го элемента, но тогда он не получил наименования. Теперь он будет называться «рентгениум» и иметь символ Rg в честь Вильгельма Конрада Рентгена — Нобелевского лауреата 1901 г. по физике и первооткрывателя X-лучей.

Sciences et Avenir. 2005. №695. P.28 (Франция).

# Раковины каури в находках Московского Кремля

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

С глубокой древности человек использовал природные материалы для изготовления необходимых в быту вещей и украшений. В их числе были и некоторые материалы органического происхождения — кораллы, янтарь, жемчуг и т.п. Мы хотим рассказать об одном виде раковин, активное применение которых археологи отмечают с эпохи бронзы и по сегодняшний день.

Речь идет о раковинах двух разновидностей морских моллюсков каури, которые встречаются в основном на Мальдивских о-вах. Из этого района в Индийском океане, юго-западнее п-ова Индостан, раковины каури завозились в материковую Индию и Африку, где, как считают нумизматы, использовались в качестве денежных знаков (мелких монет) с 400 г. и до начала прошлого века. Но, как мы увидим, каури находили и другие применения в многоплановом хозяйстве человека.

Крошечные раковины яйцевидной формы (их размеры не превышают 3,0 см; чаще всего встречаются экземпляры 1,3 см) использовались в качестве амулетов уже в эпоху бронзы и в античный период. И не только. Даже в XX в., в Туркмении например, такие раковины тоже хоро-

шо известны как амулеты. Считается, что они предохраняют от дурного глаза; их здесь называют «змеиная голова».

В средние века раковины каури попадали и в Восточную Европу, в том числе в древнерусские города. Завозили их сюда,

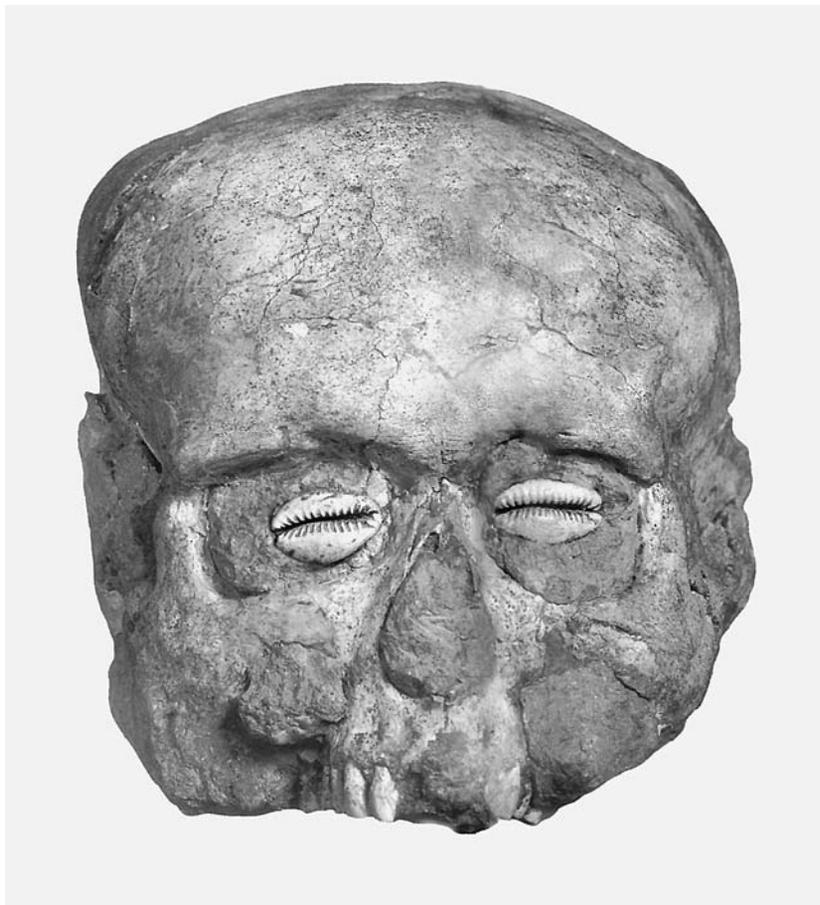
скорее всего, через Кавказ, где с древности и до недавнего прошлого они использовались в качестве амулетов всеми народами, независимо от их религиозных представлений. Аль-Бируни (973 — около 1050) писал, что каури (под названием «вад») со-



Раковина каури из раскопок в Московском Кремле. Первая половина XIII в. Такие же раковины в разных культурах и в разные времена использовались в качестве украшений, амулетов, денежных знаков.



50 каури. Гвинея. 1971 г. Алюминий. 19 мм.

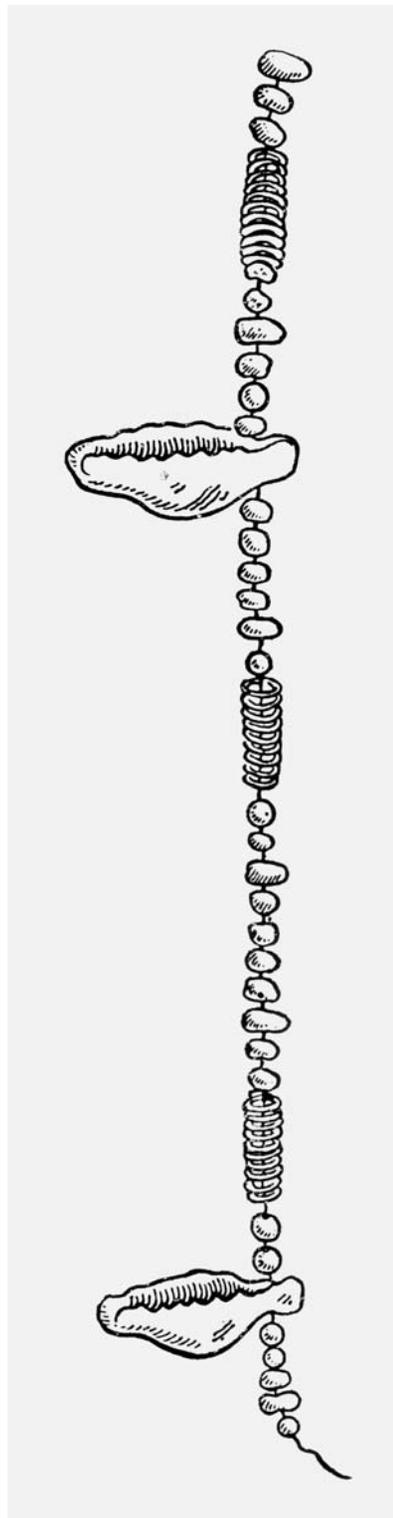


Пример использования раковин моллюсков в ритуальных целях. На обмазанном глиной черепе глаза человека выполнены раковинами каури. Погребение из Иерихона. Каменный век (неолит).

бирают на берегу океана (имеется в виду Индийский океан) во время отлива. Интересно, отмечал Бируни, что древние индийцы играли на них в азартные игры, применяли вместо мелких денег, а также как украшения, в частности на поводьях верблюдов. Возможно, они считались оберегом. Известно, что у арабов-бедуинов особенно ценились мелкие раковины белого цвета — молодые девушки связками из таких раковин украшали руки и ноги [1].

Важные сведения об использовании каури в средневековом Китае можно почерпнуть из книги знаменитого путешественника Марко Поло (около 1254 — 1324). Впервые он

столкнулся с этим предметом в китайской провинции Юньнань. Пытливый наблюдатель старался зафиксировать многие явления бытовой жизни древних китайцев, в том числе состояние торговли и денежную систему: «А монеты у них вот какие: вместо денег у них в ходу белые морские раковины, те самые, что вешают собакам на шею; восемьдесят таких раковин равняются <...> двум венецианским грошам» [2]. Упоминание о том, что каури вешали на шею собакам (возможно, в качестве оберега), представляется неожиданным. Отмечая наличие у китайцев и настоящих монет, Марко Поло постоянно обращает внимание на ис-



Прорисовка бус из погребения XIII в. Раскопки в Гродно.

пользование раковин в качестве мелких денег: «Монеты у них золотые, и раковины здесь в ходу» и «золота здесь много, а вместо мелкой монеты — раковины, такие же, как я прежде рассказывал» [2].

Когда Марко Поло удалось вырваться из Китая, он по пути на родину посетил острова Южно-Китайского моря (современные индонезийские — Яву, Суматру и др.) и отметил интересный для нас факт: «Из этого царства вывозят те раковины, что заместо денег ходят в областях, о которых я вам рассказывал <...> место дикое; мало кто сюда заходит» [2]. Это сообщение расширяет ареал происхождения интересующих нас раковин морских моллюсков.

Археологи обнаруживают раковины каури при раскопках практически во всех древнерусских городах, в слоях домонгольского времени (до 1237—1241 гг., первого нашествия кочевников под командой Бату-ха-

на на Русь), а также и позднее, в отложениях XIV—XV вв. [3]. Но находки эти, как правило, единичны и поэтому относятся к редкостям. Чаще всего раковины имели отверстие для подвешивания и несомненно входили в состав ожерелий как украшения. Но изредка их обнаруживают и в кожаных кошельках: в безмонетный период они заменяли деньги на северо-западных землях Руси (в Новгороде, Пскове и других городах).

Хотя, как мы видим, раковины каури встречаются на достаточно широкой территории, они, как правило, малочисленны.

В Московском Кремле обнаружено всего две таких раковины. Нашли их в слоях первой половины XIII в. — на древнейших участках города. Одна из них (размер 1.2 см) зафиксирована в пределах московской крепости (детинца), остатки валов которой археологи увидели в котловане при строительстве Кремлевского дворца съездов возле

Троицких ворот (1959). В середине XII — начале XIII в. был освоен еще один участок Боровицкого холма — его мыс при впадении р.Неглинной в Москву-реку. Первоначально в этом месте размещалась княжеская усадьба, двор которой замостили булыжником. Здесь, в слое, относящемся к середине XIII в., была обнаружена вторая раковина (размер 1.3 см); она лежала вместе с другими украшениями, в том числе со стеклянными бусами. Судя по отверстиям в раковинах, они тоже использовались в ожерельях наряду с бусами и металлическими привесками. Интересно, что в килем слое Кремля середины XII—XIII вв. южный импорт товаров вообще представлен широко.

Память о роли этих морских моллюсков в жизни людей разных эпох сохраняется и ныне. Так, в 1970-е годы в Гвинее была выпущена монета, одну из сторон которой украшает изображение раковины каури.■

## Литература

1. *Аль-Бируни*. Собрание сведений для познания драгоценностей (Минералогия). Л., 1963. С.127—128.
2. Книга Марко Поло. М., 1997. С.282, 284, 291, 320.
3. *Гайдуков П.Г.* Славенский конец средневекового Новгорода. Нутный раскоп. М., 1992. С.110.

Во Франции отмечается все больше случаев нападения волков на стада домашних животных. В связи с этим Министерство экологии разрешило охоту на этих хищников в департаментах Изер, Дром и Савойя. Лицензия на 2004 г. предусматривала отстрел максимум четырех особей. Способы охоты на них остаются традиционными. Волка защищают международные конвенции, но данное мероприятие не причинит какого-либо ущерба популяции этого животного во Франции.

Sciences et Avenir. 2004. №692. P.46 (Франция).

Японские геохимики Д.Дзен и М.Ямада (J.Zheng, M.Yamada) исследовали методом масс-спектрометрии донные осадки, взятые в заливе Сагами (Япония). Анализ показал повышенное содержание плутония. Ученые считают это результатом испытаний атомного оружия США в атмосфере над тихоокеанскими атоллами Бикини и Эниветок в 50-х годах прошлого века. По мнению Дзена и Ямады, плутоний перенесли на столь большое расстояние океанские течения, а не воздушные потоки.

La Recherche. 2004. №378. P.14 (Франция).

В сентябре 2004 г. на северо-западе Монголии (в долине Хомийн Тал) выпущены в природу 12 лошадей Пржевальского. Последние десятилетия эти животные содержались лишь в зоопарках и частных питомниках, но благодаря десятилетней работе К.Фей (С.Feh) древнейший обитатель монгольских степей вернулся на родину. За свой труд по реинтродукции лошади Пржевальского в естественную среду обитания Фей в 2004 г. получила престижную премию, учрежденную фирмой «Ролекс».

Sciences et Avenir. 2004. №693. P.52 (Франция).

# Автокатализ и флуктуации в природе

В.А.Вавилин

**С**истематическим исследованием автокаталитических процессов мне пришлось заниматься дважды: в студенческие годы и гораздо позднее, исследуя автоколебательные химические и анаэробные микробиологические системы. Все эти годы новая область знаний, относящаяся к периодическим химическим реакциям, развивалась как автокаталитический процесс.

Еще в 1798 г. Томас Мальтус, предположив, что число рождающихся младенцев пропорционально общему числу людей, применил закон геометрической прогрессии для описания роста народонаселения. Этот закон эквивалентен уравнению экспоненциального роста:

$$\frac{dN}{dt} = \mu N, \quad N(t) = N_0 e^{\mu t}, \quad (1)$$

где  $N$  — численность,  $N_0$  — численность в начальный момент  $t = 0$ ,  $\mu$  — удельная скорость размножения. Чарлз Дарвин, занимаясь расчетами, прогнозирующими заселенность Земли тем или иным биологическим видом, использовал результаты Мальтуса для своей теории естественного отбора, согласно которой выживают наиболее приспособленные организмы.

© Вавилин В.А., 2005



**Василий Александрович Вавилин**, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института водных проблем РАН. Область научных интересов — химическая кинетика, динамика сообществ микроорганизмов, математическое моделирование экологических процессов. Член международного авторского коллектива, создавшего общую имитационную модель анаэробных микробиологических процессов (ADM1).

П.Ферхюльст, описывая в 1838 г. феномен ограничения роста популяции, предположил, что одновременно с ростом популяции организмы погибают из-за «тесноты» — при встрече двух индивидов. Его уравнение, более известное сейчас как логистическое, записывается в виде

$$\frac{dN}{dt} = \mu N(1 - N/K), \quad N(t) = \frac{KN_0}{N_0 + (K - N_0)e^{-\mu t}}, \quad (2)$$

где  $K$  — предельная величина популяции для условий среды. При этом речь уже не идет о непосредственной гибели особей при столкновении, а принимается, что при стремлении численности  $N$  к предельному значению  $K$  скорость роста снижается. Традиционно такую зависимость объясняют тем, что пищевые ресурсы в конкретной среде ограничены и могут обеспечивать лишь определенное число особей  $K$ .

В условиях ограниченного роста популяции и единственном пищевом ресурсе (субстрате) вместо модели (2) получила признание модель Ж.Моно (1942), которую используют для описания микробиологических систем с переменными в виде концентраций (численность или масса на единицу объема):

$$\frac{dB}{dt} = \mu_m B \frac{S}{K_s + S} - k_d B, \quad \frac{dS}{dt} = -\frac{\mu_m}{Y} B \frac{S}{K_s + S}, \quad (3)$$

где  $B$  — биомасса;  $S$  — субстрат;  $\mu_m$  — максимальная удельная скорость роста биомассы;  $k_d$  — константа отмирания;  $K_s$  — константа

полунасыщения;  $Y$  — экономический коэффициент, отражающий эффективность трансформации субстрата в биомассу. По этой модели численность (биомасса) организмов уменьшается при исчерпании ресурса.

Начиная с работ А.Лотки (1925) и В.Вольтерры (1931) широкое признание получила так называемая модель хищник—жертва, когда популяция одних организмов становится пищей для других:

$$\frac{dN_1}{dt} = \mu N_1 - \alpha N_1 N_2, \quad \frac{dN_2}{dt} = \beta N_1 N_2 - \lambda N_2, \quad (4)$$

где  $N_1$  — численность жертвы,  $N_2$  — численность хищника,  $\alpha$  и  $\beta$  — коэффициенты сокращения численности жертв и роста численности хищников,  $\lambda$  — константа скорости отмирания хищника. Система (4) имеет периодическое решение, что привлекло к ней внимание многочисленных исследователей.

Термин «автокатализ» был введен для определения химических реакций, когда какой-либо из ее продуктов служит катализатором и ускоряет их. Для описания таких автокаталитических реакций также применяется уравнение (2), однако здесь используется концентрационная переменная (масса на единицу объема). В уравнениях (1–4) принимается, что процесс идет синхронно во всем пространстве системы. В сосредоточенных химических системах пренебрегают диффузией вещества, которую считают более быстрой, чем сам химический процесс. Тогда математическая модель записывается обыкновенными дифференциальными уравнениями (такие модели называются точечными). В распределенных системах диффузия становится значимой, и в этом случае динамические переменные математической модели необходимо считать функциями не только времени, но и пространства. Для логистического уравнения (2) и одномерного пространства с координатой  $x$  соответствующее уравнение записывается в виде

$$\frac{\partial N}{\partial t} = D \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \mu N(1 - N/K), \quad (5)$$

где  $D$  — коэффициент диффузии. Решая задачу распространения вида в пространстве, Р.Фишер и независимо А.Н.Колмогоров и другие в 1937 г. впервые получили решения уравнения (3) в виде бегущих плоских волн, вводя движущуюся систему координат  $x - vt$ , где  $v$  — скорость движения фронта. Величина  $v$  постоянна и пропорциональна  $\sqrt{\mu D}$  и зависит как от скорости размножения  $\mu$ , так и от коэффициента диффузии  $D$ . При этом скорость движения фронта может значительно превосходить скорость диффузии. Аналогично решили задачу для распространения пламени в химической системе Я.Б.Зельдович и Д.А.Франк-Каменецкий. Было показано, что фронт горения

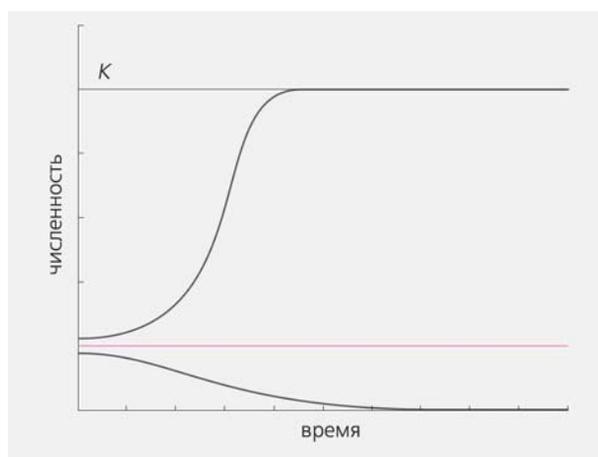
движется с постоянной скоростью, не зависящей от начальных условий, а кинетические процессы не дают волновому фронту размываться из-за диффузии.

Модели (2–5) давно стали классическими в экологии и химической кинетике. В значительной мере они лишь формально описывали рост популяций и химические реакции, не отражая суть механизмов этих процессов. Так, для химической кинетики в качестве элементарных принимаются парные взаимодействия, а автокатализ «требует» реакции с числом переменных заведомо больше одного. В многостадийном механизме некоторые стадии быстро достигают квазистационарного состояния и далее следуют за более медленным процессом. Наблюдения и опыты Р.Перля, Г.Ф.Гаузе и других показали справедливость уравнения (2) для одноклеточных организмов, но рост популяций высших организмов им уже не описывался. Интенсивное размножение, имеющее характер эпидемии, часто происходит, когда численность (или концентрация) превышает некоторый порог  $b$ . Тогда вместо уравнения (2) применяется уравнение вида

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \mu N(1 - N/K)(N - b). \quad (6)$$

В целом модели (2–6) впервые отразили нелинейность внутренних связей в химических и экологических системах. Если для линейных уравнений существует одно стационарное состояние, то для нелинейных их несколько. Переход из одного состояния в другое может происходить за счет концентрационных флуктуаций.

В математике различные режимы точечных динамических систем классифицируются по типу



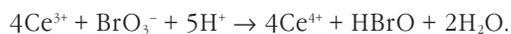
Развитие и отмирание популяции в зависимости от начальных условий:  $K$  — предельная численность популяции, ее пороговое значение показано цветом. Если численность популяции ниже порогового значения, она отмирает.

поведения. Теория бифуркаций (разветвлений), анализ устойчивости стационарных решений и теория катастроф, развитие А.Пуанкаре, А.М.Ляпуновым и другими, позволяют исследовать поведение нелинейных динамических систем, далеких от равновесия, при изменении их параметров. Сегодня для сосредоточенных систем известны стационарные состояния в виде периодических, квазипериодических и хаотических колебаний, математическим выражением которых служат предельный цикл, тор и странный аттрактор. Начиная с Э.Лоренца (1961), изучавшего тепловую конвекцию в атмосфере, примеры странных аттракторов стали находить в различных нелинейных динамических системах. Для распределенных систем известны автоволновые процессы, пульсирующие и стационарные диссипативные структуры, химическая турбулентность и др.

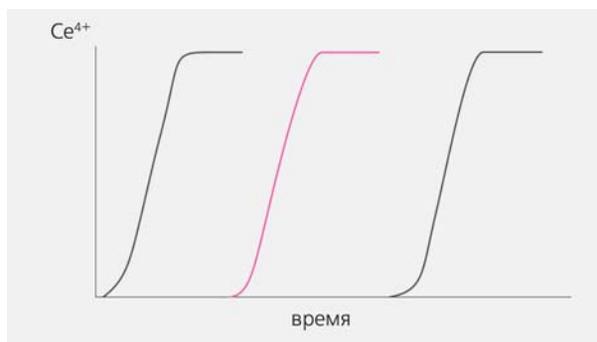
На практике интенсивное перемешивание среды усредняет пространственную концентрацию. В реальных условиях неидеальность перемешивания может приводить к новым эффектам в нелинейных динамических системах, которые адекватно описать детерминистическими уравнениями без учета флуктуаций нельзя [1]. Если система находится вблизи точек бифуркации, то ее неустойчивость вызывает повышенную чувствительность к флуктуациям, и в итоге система переходит из одного стационарного состояния в другое. Различают два типа флуктуаций: внешние и внутренние. В системах, имеющих автокаталитические стадии, возможно самоусиление внутренних флуктуаций.

### Флуктуации в автокаталитической химической системе

К настоящему времени широкую известность получила периодическая химическая реакция Белоусова—Жаботинского [2]. В ходе этой реакции в кислых условиях чередуются процессы окисления броматом и восстановления органической кислотой, протекающие в присутствии катализатора (ионов металла). Автокаталитическая реакция окисления (ключевая стадия) для ионов церия (наряду с церием использовались и комплексы железа, придающие раствору яркую окраску) записывается следующим образом:



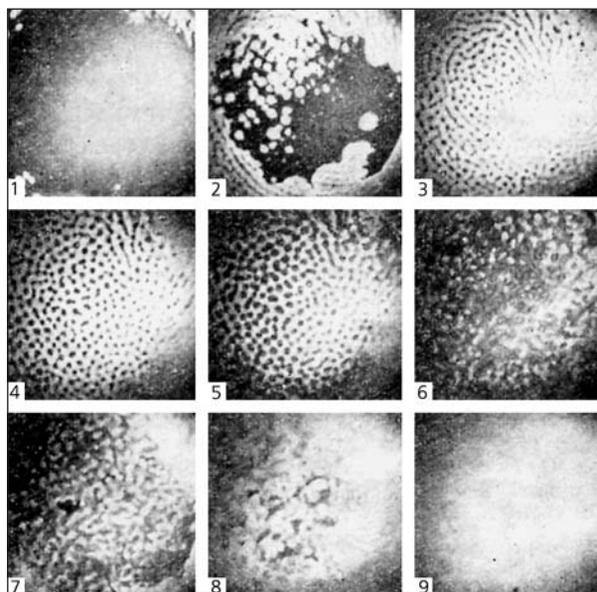
Показано, что при интенсивном перемешивании она начинается лишь спустя некоторое время [3]. Такой индукционный период (или лаг-фазу) можно устранить, если ввести в систему продукт реакции  $\text{HBrO}$ . Была предложена схема, в которой активатором (размножающейся частицей), обеспечивающим автокатализ, служит молекула  $\text{HBrO}_2$  [4], но при значительных концентрациях бромид-иона ( $\text{Br}^-$  присутствует в системе изначально) размножение не происходит.



Кривые концентрации ионов церия в ходе автокаталитической реакции: добавка  $\text{Br}^-$  увеличивает лаг-фазу (справа); введение серебра  $\text{Ag}^+$ , связывающего  $\text{Br}^-$ , уменьшает ее (слева); без добавок — цветная кривая.

Полный механизм периодической реакции Белоусова—Жаботинского известен сейчас как схема ФКН (Р.Филда, Е.Кереша и Р.Нойеса), в которой ключевую роль играют взаимоотношения активатор—ингибитор, влияющих на чередование реакций окисления и восстановления катализатора — ионов металла. Системы активатор—ингибитор открыты и для других периодических химических реакций [5].

Исследуя автокаталитическую реакцию в тонком не перемешиваемом слое раствора (чашке



Последовательные снимки автокаталитической реакции в чашке Петри. Цифры 1—9 соответствуют различным моментам времени с интервалом 2 мин. Видно, что к третьему кадру образуется отчетливая ячеистая структура, которая существует ограниченное время и к восьмому кадру исчезает.

Петри), мы обнаружили, что она начинается с некоторых локальных точек и затем распространяется по пространству [4]. Тщательная очистка реагентов не меняла динамику системы, что позволило допустить флуктуационный механизм появления очагов (зародышей). Очаг реакции можно создать искусственно в конкретном месте пространства, вводя  $Ag^+$ . Интенсивное перемешивание раствора, выравнивающее градиенты концентраций, значительно увеличило лаг-фазу. После накопления критической массы активных частиц процесс ускорялся при встряхивании реакционной смеси. Оказалось, что изначально реакцию можно провести за короткое время, начиная перемешивание только при достаточном объеме очагов. Разбросав их по пространству, можно поджечь весь объем.

П.Ванаг доказал флуктуационное образование очагов в структурированной среде (микроэмульсии) [6]. Используя теорию клеточных автоматов, он показал, что с увеличением объема реактора усиливается эффект перемешивания, поскольку увеличивается вероятность крупномасштабных флуктуаций. Последствия от таких событий превосходят сумму последствий от часто возникающих мелкомасштабных флуктуаций. Если перемешивание не очень интенсивное, то в нелинейной химической системе сохраняются микрообъемы, в которых концентрации реагентов могут заметно отличаться от средних. Чем больше распределение частиц по микрообъемам отличается от пуассоновского, тем сильнее поведение системы как целого отличается от поведения идеально перемешиваемой, когда концентрации выравниваются.

Усиленное перемешивание уменьшает характерный внутренний масштаб турбулентного движения, называемый размером Колмогорова, которому соответствуют наиболее мелкие турбулентные вихри или пульсации элементов жидкости.

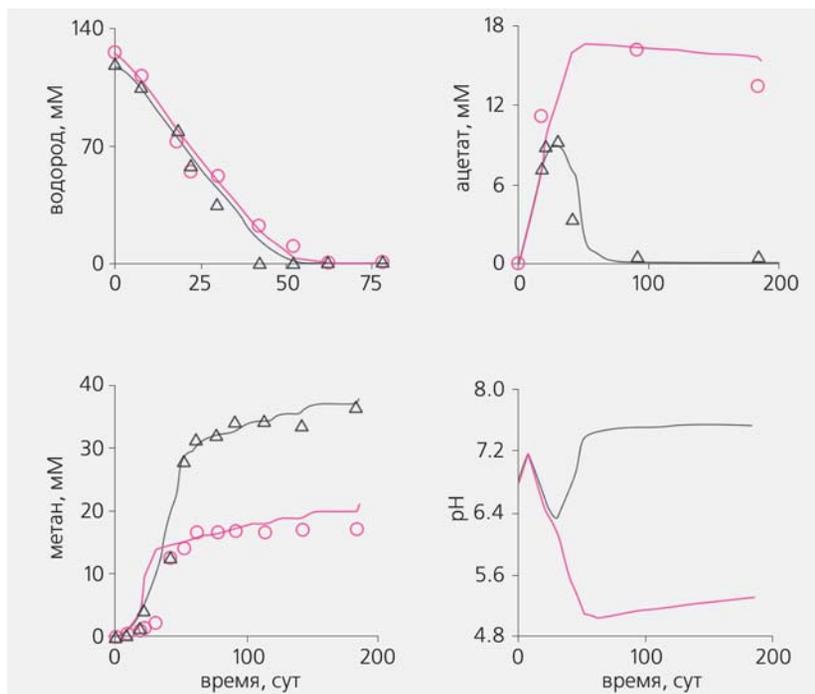
В распределенных нелинейных химических системах без перемешивания наличие подсистемы активатор—ингибитор может вызвать спонтанное образование диссипативных структур и волновые явления. Мне впервые удалось наблюдать возникновение ячеистой структуры в ходе автокаталитической реакции [7].

Детерминированный хаос в виде странного аттрактора с экстремальной чувствительностью траектории системы к начальным условиям оказался присущ и реакции Белоусова—Жаботинского.

## Флуктуации в анаэробных микробиологических системах

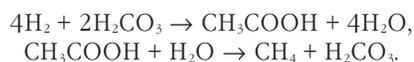
Микробиологические процессы, проходящие в отсутствие кислорода, характерны как для природных, так и технических систем. В разложении органических веществ участвует целое сообщество различных типов микроорганизмов, осуществляющих последовательно гидролиз, кислотогенез, ацетогенез и метаногенез. В ходе этих стадий из сложных молекул образуются жирные кислоты и конечные продукты — метан ( $CH_4$ ) и углекислый газ ( $CO_2$ ). Высокие концентрации продукта или субстрата могут ингибировать каждую реакцию, и в итоге конечный продукт  $CH_4$  может и не появиться. Поскольку микроорганизмы сами — ак-

Экспериментальные данные (символы) и результаты моделирования (кривые) поведения анаэробной микробиологической системы. Один и тот же опыт повторялся дважды, при этом были получены резко отличающиеся значения для водорода, ацетата, метана и pH. Численное моделирование показало, что небольшие различия в начальных концентрациях микроорганизмов приводят к резкому отличию решений.



тиваторы (именно они размножаются), то мы имеем такие подсистемы, как активатор—ингибитор. В настоящее время поведению анаэробных микробиологических систем как нелинейных динамических систем уделяется особое внимание.

*Гомоацетогенез и метаногенез.* Метан образуется из водорода и диоксида углерода (особенно при низких температурах) через промежуточную стадию, гомоацетогенез:



Так, в тундровой почве при одинаковых условиях процесс, осуществляемый микроорганизмами, может закончиться на стадии ацетата, когда не весь субстрат ( $\text{H}_2$  и  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) превращается в метан [8]. Повышение температуры способствует полному разложению органического вещества до метана и диоксида углерода. Динамическая модель, учитывающая остановку метаногенеза высокими концентрациями ацетата, показала, что система находится вблизи точки бифуркации, когда концентрационные флуктуации могут изменить ее динамическое поведение. Такая неоднозначность обычно плохо воспринимается экспериментаторами: результаты часто считаются артефактами и не публикуются в научной литературе.

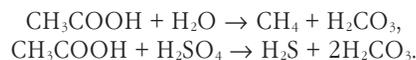
*Гидролиз и метаногенез.* Разложение твердых органических веществ, в том числе и твердых бытовых отходов, начинается с гидролиза, а заканчивается метаногенезом, при этом образуются промежуточные продукты (ацетат и другие жирные кислоты). Если процесс несбалансирован, накапливаются жирные кислоты (низкие значения pH), что тормозит и гидролиз, и метаногенез. Тра-

диционно считается, что для равномерного распределения гидролитических ферментов в анаэробном реакторе необходимо адекватное перемешивание. Мы обнаружили, что интенсивное перемешивание прекращает метаногенез [9].

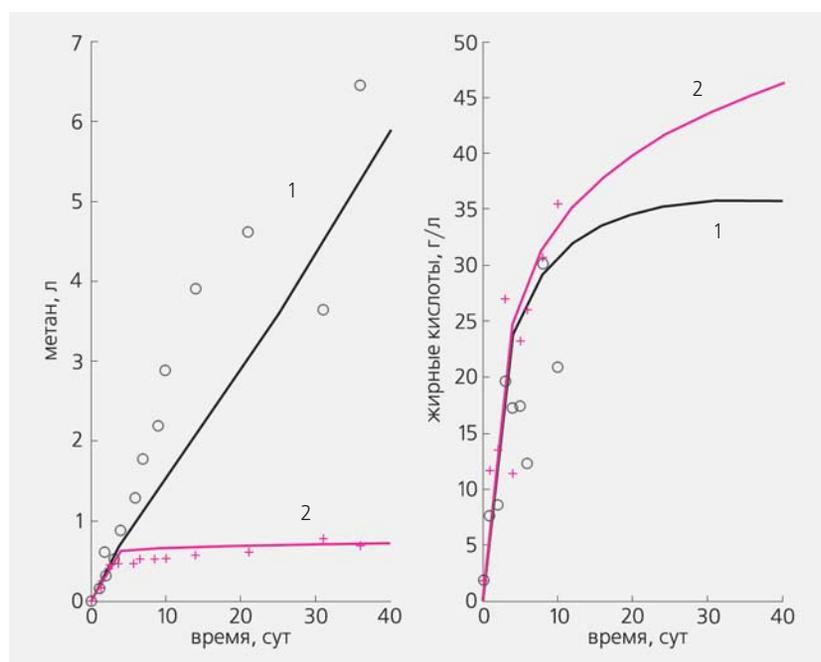
Двумерная модель реактора показала, что изначальное разделение зон активного метаногенеза и гидролиза/кислотогенеза способствует эффективному превращению бытовых отходов в метан, а интенсивное перемешивание блокирует метанообразование. Для выживания необходим достаточный размер зародыша.

При слабом перемешивании концентрационные флуктуации могут перевести системы с одного динамического поведения на другое. Интересно, что мозаичная структура наблюдается на городских свалках, где зоны активного метаногенеза и гидролиза/кислотогенеза соседствуют [10].

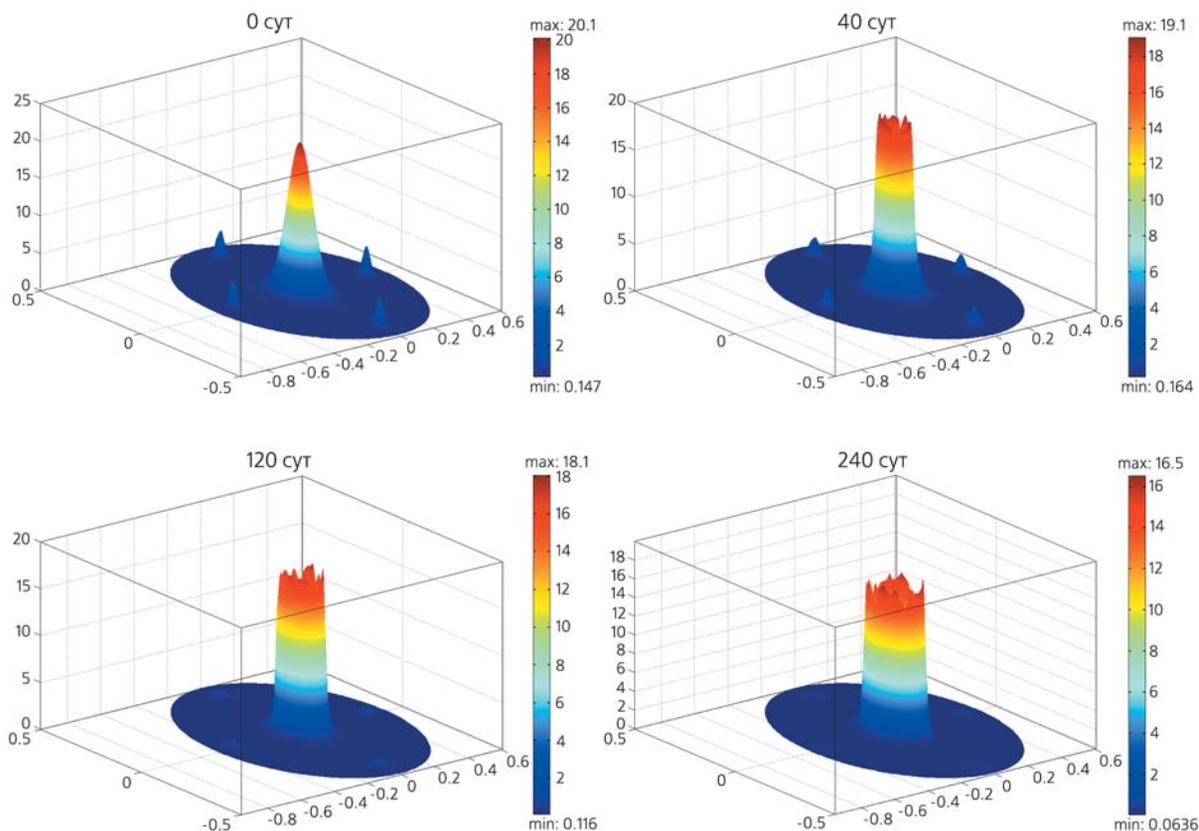
*Сульфат-редукция и метаногенез.* Г.Паркин и др. обнаружили резкие скачки концентраций ацетата и сульфата в анаэробной проточной системе, где одновременно шли метаногенез и сульфат-редукция [11, 12]:



Оказалось, что при высокой начальной концентрации сульфата прекращаются не только метаногенез, но и сульфат-редукция. Для объяснения немонотонного характера динамических кривых предложена кинетическая схема, учитывающая ингибирующее действие высоких концентраций сульфидов [13, 14]. Динамическая модель, соответствующая этой схеме, имела периодическое решение.



Зависимость метанообразования от перемешивания в процессе разложения твердых бытовых отходов: 1 — отсутствие перемешивания, 2 — интенсивное перемешивание. Кривые — численные решения двумерной модели, символы — экспериментальные данные. Метаногенез прекращается при интенсивном перемешивании, когда реакционное пространство однородно. Если перемешивания нет, жирные кислоты усваиваются микроорганизмами в метаногенных центрах (зародышах), отдаленных от зоны гидролиза/кислотогенеза.



Рост метаногенной популяции при разложении твердых бытовых отходов согласно двумерной модели для круга при пятипиковом начальном распределении биомассы. Развивается лишь центральный относительно большой пик биомассы, при этом дефицит органического вещества и отмирание микроорганизмов со временем вызывают падение их концентраций в центре. Диффузия жирных кислот, ингибирующих рост метаногенов, быстро приводит к исчезновению периферийных пиков.

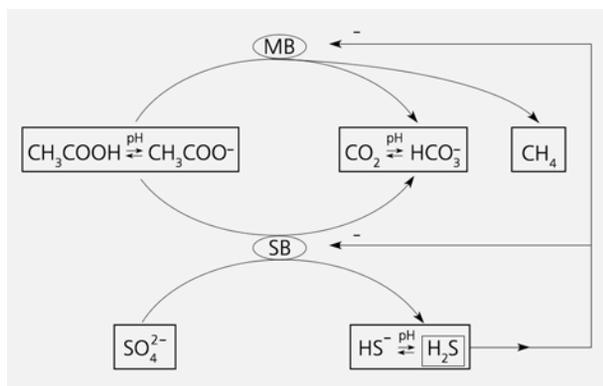
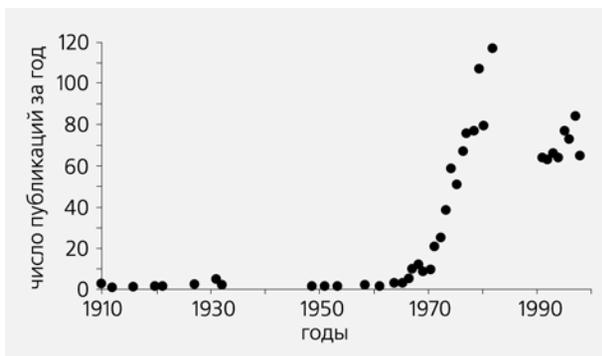


Схема взаимодействия метаногенных (MB) и сульфат-редуцирующих (SB) бактерий, конкурирующих за ацетат  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Сероводород в неионизированной форме  $\text{H}_2\text{S}$ , концентрация которой регулируется величиной pH, останавливает не только метаногенез, но и сульфат-редукцию.

## Развитие науки как автокаталитический процесс

Еще в 1969 г. В.В.Налимов и З.М.Мульченко в своей монографии, названной «Наукометрия», рассматривали науку как информационный процесс, а ее развитие определяли по росту публикаций, количеству журналов, научных сотрудников и ассигнований в науку. Впервые в отечественной литературе упоминался индекс цитирования как важный показатель продуктивности ученого и темпов развития той или иной области науки.

Очевидно, что частота публикаций отражает количество людей, занятых в данной области, денежные средства, вложенные в нее, а также популярность предмета. Если данные исследования находятся вне основного русла научной мысли, количество публикаций не увеличивается. Именно так было и с колебательными химическими реакциями [15–17]. До середины 60-х годов про-



Динамика публикаций по колебательным химическим реакциям в мировой литературе. Видно, что экспоненциальный рост начался с середины 60-х. Сейчас уже во многих статьях упоминание реакции Белоусова—Жаботинского не сопровождается литературной ссылкой. Ее называют сокращенно БЖ-реакцией.



В.А.Вавилин и А.М.Жаботинский. Фото 2002 г.

шлого века научные публикации по колебательным реакциям носили эпизодический характер. Серьезные работы время от времени появлялись, но не привлекали достаточного внимания.

Современная история исследований колебательных химических реакций началась в 1951 г. с открытия Б.П.Белоусова. Его статью с феноменологическим описанием периодической реакции редакции известных химических журналов отклонили дважды. Лишь в 1959 г. ее сокращенный вариант вышел в малоизвестном «Сборнике рефератов по радиационной медицине». Это открытие могло бы так и остаться незамеченным. Но в 1961 г. биохимик С.Э.Шноль предложил своему аспиранту А.М.Жаботинскому исследовать механизм реакции Белоусова. Такая аспирантская тема стала возможной именно на физическом факультете МГУ с традициями изучения колебательных процессов. В марте 1966 г. состоялся Первый

всесоюзный симпозиум «Колебательные процессы в биологических и химических системах», в трудах которого появилось сразу восемь статей группы Жаботинского. К концу 60-х годов периодическая реакция, названная впоследствии реакцией Белоусова—Жаботинского, получила широкую известность. Фактически открытие Белоусовым колебательной химической реакции, продолжение работы Жаботинским и его группой — своего рода флуктуация, которая сменила латентный период исследований химических колебаний на экспоненциальный рост.

Формально роль активатора в развитии научных знаний выполняют научные публикации. Ингибитор здесь не столь очевиден: в какой-то мере это представления, не совпадающие или противоречащие новым результатам. Сами публикации создаются конкретными авторами, а творческий процесс — следствие их таланта, работоспособности, удачи. Согласно модели Рида—Фроста, среди авторов выделяются индукторы (заражающие), реципиенты (воспринимающие) и покидающие ту или иную область науки. Аспиранты принадлежат к наиболее подвижной части научных сотрудников, приходящих в конкретную науку и легко из нее уходящих. Начальные работы, как правило, основаны на личной инициативе индукторов и не опираются на значимую финансовую поддержку. Когда число реципиентов превышает пороговую величину, наступает своего рода эпидемия. При этом конкретная область науки становится «модной», а финансовая поддержка служит движущим фактором развития.

Реакция Белоусова—Жаботинского стимулировала появление новой области науки, а экспериментальные работы инициировали развитие современной теории нелинейных динамических систем. Наиболее полный анализ динамики научных знаний о периодических реакциях, становления различных научных школ, проведенных конференциях, влияния наиболее значимых статей на творческий процесс содержится в работе М.Бургера и Э.Буйдошо [17]. В качестве индикатора развития использовались такие показатели, как число публикуемых статей в ведущих журналах и их цитируемость, число активно работающих ученых, количество журналов, публикующих работы в данной области и др.

В настоящее время знания по анаэробным микробиологическим системам с нелинейными динамическими процессами накапливаются, но экспериментальные и теоретические работы развиваются пока разрозненно. Кто знает, но может быть, создание обобщенных динамических моделей анаэробных систем типа ADM1, опубликованной в 2002 г., послужит флуктуацией к будущему экспоненциальному росту этой области науки. На конгрессе по анаэробным процессам, прошедшем в Монреале в 2004 г., модель ADM1 цитировалась более 20 раз. Социальный заказ для развития на-

зрел: это и проблема глобального потепления, что в немалой степени связано с анаэробными (природными и антропогенными) экосистемами, поставляющими метан и углекислый газ в атмосферу, и проблема перехода к возобновляемым источникам энергии, когда в биотехнологических системах органическое вещество трансформируется в биотопливо в виде метана или водорода.

## Вместо эпилога

Автокатализ, как и волновые процессы, характерны для многих динамических систем в приро-

де и обществе. Распространение эпидемий, религиозных учений, моды, научных знаний — лишь некоторые примеры подобных процессов, у которых всегда есть взлеты и падения. К сожалению, приходится констатировать, что в настоящее время развитие российской науки и ее престиж резко падают, а научный сотрудник для российского общества становится скорей именем нарицательным. В новых неразвитых рыночных условиях старая наука, финансируемая «сверху», стала невостребованной и поэтому избыточной, а новая наука, иницируемая «снизу», с широкой системой грантов и свободной конкуренцией, еще не создалась. ■

## Литература

1. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М., 1979.
2. Жаботинский А.М. Концентрационные колебания. М., 1974.
3. Вавилин В.А., Жаботинский А.М. // Кинетика и катализ. 1969. Т.10. С.83—88.
4. Вавилин В.А., Заикин А.Н. // Кинетика и катализ. 1971. Т.12. С.309—313.
5. Колебания и бегущие волны в химических системах / Под ред. Р.Филда и М.Бургер. М., 1988.
6. Ванг П. // Автореф. дис. д.ф.-м.н. Институт хим. физики им.Н.Н.Семенова. М., 1996.
7. Вавилин В.А. // Кинетика и катализ. 1971. Т.12. С.1045—1047.
8. Vavilin V.A., Lokshina L.Ya., Rytov S.V. et al. // Biores. Technol. 2000. V.71. P.195—209.
9. Vavilin V.A., Angelidaki I. // Biotechn. Bioengn. 2005. V.89. P.113—122.
10. Nozbevnikova A.N., Lifshitz A.B., Lebedev V.S. et al. // Chemosphere. 1993. V.26. P.407—417.
11. Parkin G.F., Lynch N.A., Kuo W.C. et al. // J. WPCF. V.62. P.780—788.
12. O'Flaherty, Colleran E. // Biores. Technol. 1999. V.68. P.101—107.
13. Vavilin V.A., Vasiliev V.B., Rytov S.V. et al. // Biores. Technol. 1994. V.49. С.105—119.
14. Fomichev A.O., Vavilin V.A. // Ecol. Modelling. 2001. V.95. P.133—144.
15. Шноль С.Э. Герои, злодеи и конформисты российской науки. М., 2001.
16. Вавилин В.А. Автоколебания в жидкофазных химических системах // Природа. 2000. №5. С.19—24.
17. Бургер М., Буйдошо Э. // Колебания и бегущие волны в химических системах. Ред. Р.Филд, М.Бургер. М., 1988. С.608—647.

Р.Стекел (R.Steckel; Университет штата Огайо, США), измерив нескольких тысяч скелетов из могил Северной Европы, пришел к выводу: средний рост мужчины XI—XII вв. равнялся 173.4 см, т.е. почти не отличался от нынешнего. В конце XII в. этот показатель начал снижаться и стабилизировался с наступлением XVII в. на уровне, меньшем примерно на 6.5 см. Стекел объясняет эту динамику тем, что в малый ледниковый период продуктивность сельского хозяйства упала и люди не могли питаться столь же полноценно, как в предыдущие века.

Sciences et Avenir. 2004. №692. P.24 (Франция).

Три британских научных учреждения — Лондонский музей естественной истории, Лондонское зоологическое общество и Институт генетики Ноттингемского университета — договорились о создании первого в мире банка ДНК видов животных, находящихся под угрозой вымирания. Проект называется «Замороженный ковчег», возглавляет его Ф.Рейнбоу (Ph.Rainbow). В первую очередь планируется собрать в общий список все существующие в мире коллекции ДНК: по отдельности они страдают пробелами и труднодоступны.

Science. 2004. V.305. №5684. P.603 (США).

Почему письменность шумеров, возникшая примерно 5 тыс. лет назад, использовалась после того, как уже умер их разговорный язык, еще на протяжении почти двух тысячелетий?

Филолог Д.Браун (D.Brown; Университетский колледж Лондона) объясняет это бурным развитием астрологии. Продажа гороскопов, написанных клинописью, приносила большие доходы писцам. Они передавали свое ремесло из поколения в поколение и вовсе не хотели оставлять столь прибыльное занятие.

La Recherche. 2004. №378. P.22 (Франция).

# Лошади Пржевальского в Китае

Н.В.Паклина

Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН

К.ван Орден

Департамент охраны природы провинции Южная Голландия (Нидерланды)

Лошадь Пржевальского (*Equus przewalskii*) называют иначе монгольской дикой лошастью, хотя с не меньшим основанием ее можно было бы именовать и китайской. В конце XIX — начале XX вв. ее обширный ареал сократился до пределов Джунгарии: восточная его часть лежала на территории современной Монголии, а западная — современного Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая. Н.М.Пржевальский во время экспедиции 1876—1877 гг. встретил диких лошадей на пути от р. Булугун к оз. Баркуль, т.е. в монгольской части Джунгарии. Однако шкура и череп, переданные ему Зайсанским уездным начальником А.Тихоновым и послужившие образцом для описания вида, происходят из района южной Джунгарии — пески Хан-Обо в Китае [1]. Братья Г.Е и М.Е.Грум-Гржимайло, добывшие четыре полных экземпляра лошади Пржевальского для Российской Императорской академии наук, также охотились на них в Китае, в урочище Гашун, расположенном в 65 верстах от Гучена (нынешний Читай, или Qitai\*) [2].

\* Пользуясь картами Китая, где китайские названия дублируются латинскими буквами, «Q» следует читать как русское «Ч». Многие места в Китае имеют до трех названий и на разных картах пишутся по-разному.

© Паклина Н.В., Орден К.ван, 2005

Китайское название лошади Пржевальского «е-ма» менее известно, чем монгольское «тахи». Более того, в статьях на английском языке сами китайцы часто именуют диких лошадей «pushi horses», именем, которое, видимо, произошло от английского — «przewalski horses», хотя и имеет с ним весьма отдаленное сходство.

На территории Монголии лошадь Пржевальского перестала встречаться в начале 70-х годов XX в. В Китае же она исчезла еще раньше, однако местные жители продолжали сообщать о встречах и добыче диких лошадей вплоть до 80-х годов.

Работы по восстановлению исчезнувшего вида в Китае начались в 1985 г. В Синьцзян-Уйгурском районе был организован первый Центр разведения лошади Пржевальского «Джимсар»\*\*. При участии Министерства лесного хозяйства Китая с 1985 по 1988 г. из зоопарков Великобритании и Германии в Центр было завезено 16 лошадей Пржевальского — шесть самцов, десять самок. Все животные, кроме одной кобылы, погибшей от заболевания сердца, выжили. В 1988—1990 гг. было получено 12 здоровых жеребят. Площадь центра была увеличена до 2.56 км<sup>2</sup>, но все равно

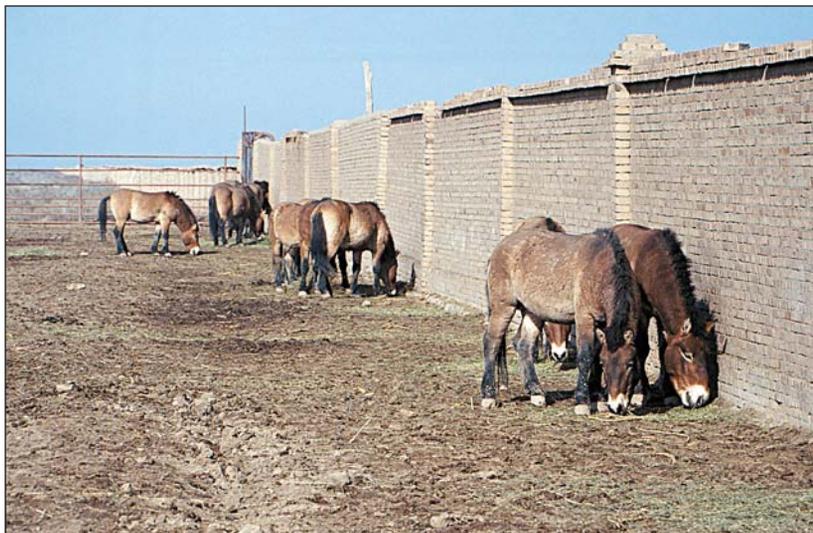
\*\* Сейчас в Китае уже существует три Центра разведения. Два других находятся в провинции Гансю.

оставалась недостаточной для круглогодичного выпаса 27 лошадей, и подкормка животных была необходима.

Выпускать лошадей планировалось непосредственно на прилегающие к Центру территории. Но проблема состояла в том, что находится он примерно в 70 км от южной границы заповедника «Каламайли», специально организованного на западных отрогах хребта Байтаг-Богдо для защиты не только лошади Пржевальского, но и кулана (*Equus hemionus hemionus*) и джейрана (*Gazella subgutturosa*). К тому же Центр от заповедника отделяет полоса песков шириной около 40 км. Немецкий профессор Г.Клингел, посетивший «Джимсар» и «Каламайли» в 1988 г., настоятельно рекомендовал построить дополнительный вольер для лошадей Пржевальского непосредственно на территории заповедника и передерживать там животных по крайней мере в течение нескольких месяцев перед выпуском в природу [3]. О работах, проводимых в Китае, профессор Клингел и китайские ученые докладывали на Международном симпозиуме, который проходил в 1990 г. в Лейпциге [3, 4]. Впоследствии никакие сведения о ходе работ по восстановлению лошади Пржевальского в Китае до нас не доходили.

В ноябре прошлого года мы отправились в Китай, прежде всего, чтобы побывать в Центре разведения «Джимсар» и заповеднике «Каламайли» и воочию убедиться в истинном положении дел. После пятичасового перелета мы оказались в г.Урумчи — столице Синьцзян-Уйгурского автономного района. Дальше пришлось арендовать машину, так как Центр разведения, хотя и носит название «Джимсар», расположен довольно далеко от одноименного поселка и в стороне от основных дорог. Водитель Ян никогда раньше не бывал в Центре, поэтому, свернув на север у поселка Сенхэ, мы еще долго блуждали по пустыне, прежде чем увидели голубое с белыми колоннами трехэтажное здание офиса, одноэтажные постройки напротив — музей и гараж, а за ними уходящая до горизонта кирпичная стена — загон для лошадей Пржевальского. Посетителей здесь, видимо, почти не бывает. Во всяком случае, наш приезд вызвал у сотрудников некоторую растерянность. К тому же никто из сотрудников не владел иностранными языками, поэтому переговоры вел Ян, говорящий тоже только по-китайски. После долгих и непонятных нам дискуссий мы все-таки получили разрешение подойти к ближайшему загону (только к одному и всего на пять минут!), в котором находились 13 жеребцов-холостяков. Все животные были в хорошем состоянии и доедали разбросанное вдоль кирпичной стены свежее зеленое сено. За столь короткое время, что нам дозволено было смотреть на них, жеребцы успели продемонстрировать взаимный груминг, валяние и другие интересные элементы поведения, смягчив тем самым сухой прием со стороны людей.

Переночевав в пос.Джимсар, мы отправились на поиски лошадей Пржевальского в заповедник «Каламайли», зная только, что они недавно были туда завезены, и не имея ни малей-



Холостяцкая группа лошадей Пржевальского в Центре разведения «Джимсар».

Здесь и далее фото авторов

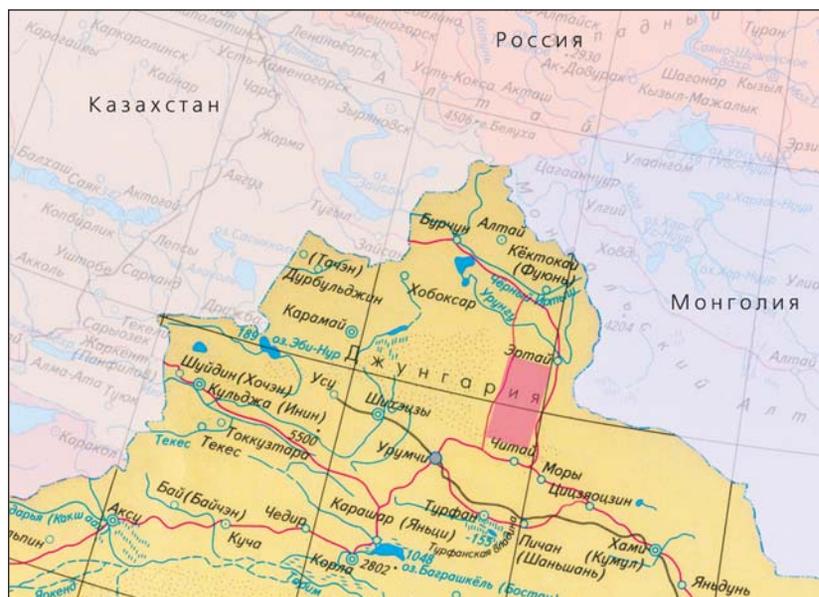


Нефтяная промышленность угрожает животному миру Джунгарской Гоби.

шего представления о точном месте их нахождения. Мы рассчитывали, что Ян и турагент из Урумчи, которые держали друг с другом постоянную связь по мобильному телефону, владеют большей информацией, но, как выяснилось позже, ошибались.

Вернувшись немного назад, в сторону Урумчи, свернули на новую, еще не достроенную дорогу, которая должна соединить Урумчи с Алтаем. Слева в туман-

ной дымке, как и вчера, видны были лишь слабые очертания Тянь-Шаня. На некоторых участках дороги еще кипела работа. Привлечено было много современной техники (бульдозеры, катки, огромные самосвалы), но не было ни одного указателя, поэтому поиск объездных путей отнимал массу времени. Низкий на ходу «Фольксваген» постоянно цеплял дном неровности грунта и очень расстраивал сво-



Местоположение заповедника «Каламайли» (выделено прямоугольником).

его хозяина. По обе стороны дороги встречались нефтяные вышки, качающие «черное золото». Между ними бродили стада домашних верблюдов, наводя на грустную мысль, что та же участь ждет и диких животных.

Мы медленно продвигались вдоль западной границы заповедника «Каламайли». В 1982 г., когда заповедник был только организован, его территория была незначительной — 1,8 тыс. км<sup>2</sup>, но спустя два года ее удалось

увеличить до 17 тыс. км<sup>2</sup>, и сейчас это крупнейший заповедник копытных животных в Сынцзяне. «Каламайли» имеет форму прямоугольника, вытянутого от Алтая к Тянь-Шаню, в соответствии с этим меняется и высота над уровнем моря. Поскольку заповедник находится в зоне континентального аридного климата, летом температура достигает +40,8°C, зимой опускается до -36,6°C [4]. Годовое количество осадков невероятно мало — от

40 до 160 мм. Недостаток воды — серьезный лимитирующий фактор для всего живого этого региона. На всей территории заповедника находится всего один постоянный родник. Дополнительными источниками воды служат сезонные реки. Горные реки, берущие начало на Тянь-Шане, даже не достигают южной границы заповедника, так как значительная часть речной воды расходуется на орошение полей в северных предгорьях Тянь-Шаня. Река Урунгу также находится за пределами заповедника, примерно в 45 км от его северной границы.

Преодолев за день всего 340 км, к ночи мы наконец добрались до гостиницы в Чагату (или Джагату) — в поселке, расположенном на южном берегу знаменитой р.Урунгу. Эта река примерно столетие назад была северной границей распространения лошади Пржевальского.

Утром водитель явно был настроен возвращаться в Урумчи, причем по той же дороге, где накануне мы не видели ни лошадей Пржевальского, ни куланов. Из копытных животных нам встретились только джейраны, которых мы насчитали 86 особей: одиночных и в группах размером от 2 до 40.

Сложно было уговорить Яна ехать обратно по старой дороге,



Группа лошадей Пржевальского и рожденный в Джунгарской Гоби жеребенок.



Гарем свободно пасущихся лошадей Пржевальского в Джунгарской Гоби.



Стоянка кочевников-скотоводов.

которая проходит вдоль восточной границы заповедника, по предгорьям Байтаг-Богдо. Он отрицательно мотал головой, упорно повторяя: «Е-ма но, кулан но», что означало: «Там вы точно не увидите ни лошадей Пржевальского, ни куланов». «Но вдоль новой дороги мы их тоже не видели!» — возражали мы, но не были поняты. Что делать? Помог случай. Мы вышли из гостиницы и завернули за угол, чтобы позавтракать в ближайшем кафе. Завтрак оказался несъедобным, но напротив на-

шего столика красовалась нарисованная во всю стену карта района с его достопримечательностями, на которой не последнее место занимало изображение лошадей! Мы достали имевшиеся у нас с собой снимки лошадей Пржевальского и показали их хозяину кафе. Он, видимо, узнал животных: закивал головой, показывая сначала на фотографии, а потом на настенный рисунок, и стал что-то объяснять Яну. Ян его внимательно выслушал и опять ткнул пальцем на карте все в ту же недостроен-

ную дорогу. Нам оставалось только подчиниться.

Взглянув на Урунгу, мы двинулись в обратном направлении. И действительно, в 40–45 км южнее Чагату увидели большой, размером в несколько десятков гектаров, загон с лошадьми Пржевальского, а чуть в стороне от него белый домик в форме куба, с круглой белой антенной у стены и таким же белым джипом у двери. Накануне мы не заметили ни домика, ни воьера, потому что проезжали мимо них уже в темноте.

Двое молодых людей, вышедших нам навстречу, оказались более гостеприимными, чем их коллеги из Центра разведения «Джимсар». Они показали нам вольер, в котором находилась гаремная группа из 11 лошадей Пржевальского (взрослый и молодой жеребцы, восемь кобыл и жеребенок), а потом повезли нас на своем джипе к выпущенным в заповеднике лошадям Пржевальского. Рядом с новой магистралью вырыта небольшая канава с водой — видимо, основной водопой диких животных. От нее по свежеснежавшему снегу шла хорошо заметная звериная тропа, которая и привела нас к лошадям Пржевальского.

Километрах в семи от дороги мы нашли маленькую, видимо, недавно образованную гаремную группу, состоящую из взрослого жеребца, кобылы и двух жеребят прошлого и этого года рождения. Животные свободно паслись, выискивая среди небогатой пустынной растительности сухие кусты ковыля. Наше появление их не встревожило — видно, они еще не успели одичать. Даже когда мы вышли из машины, они не двинулись с места и позволили приблизиться к себе почти вплотную.

Оставив маленький гарем, мы без дороги проехали еще несколько километров в тщетных поисках других групп, после чего сопровождавшие нас егеря воспользовались многократно проверенным приемом: остановили машину на вершине самого высокого холма и стали осматривать местность в бинокль. Вскоре слева они заметили группу холостяков, состоящую

из шести молодых жеребцов, и неподалеку от них группу куланов. А мы увидели на вершине холма одну лошадь Пржевальского. Одна? Нет, вскоре за первой появилась вторая, за второй — третья, четвертая... Лишь на мгновение замерли они на вершине, потом компактная группа распалась, и лошади одна за другой помчались по склону, выстраиваясь на бегу в цепочку. Думаете, они пытались скрыться от нас, как подобает диким животным? Ничего подобного, не знавшие зла от людей лошади бежали к нам! Остановились в полукилометре, какое-то время смотрели на нас, а потом, видимо, удовлетворив любопытство, начали спокойно пастись. Это была большая гаремная группа из 12 животных, включая одного жеребенка.

Итак, в «Каламайли» в начале ноября 2004 г. свободно паслись 22 лошади Пржевальского. Еще 11 ждали счастливого часа в вольере неподалеку, и большой резерв — около 80 лошадей — находился в «Джимсаре».

Хорошо бы на этом закончить рассказ, однако мы решили заглянуть в «Каламайли» перед отъездом, тремя неделями позже, и были удручены увиденным. Вдоль дороги повсюду, в том числе и на территории заповедника, были разбиты стоянки кочевников-скотоводов, которые, следуя многовековой традиции, спустились на зиму с горных пастбищ в Джунгарскую Гоби. Вокруг юрт паслись многочисленные стада домашних животных: в основном овец и коз, но были и верблюды, и домашние лошади в небольших табунах до 50 голов. Стояла юр-

та даже у канавы с водой, из которой раньше пили лошади Пржевальского и другие дикие животные.

Где же были на этот раз дикие животные? Джейранов и куланов мы встретили гораздо южнее, чем в первый приезд — на территории, еще не занятой скотоводами. Животные охотно поедали недавно выпавший снег, что видимо, позволяло им обходиться без водопоя.

А все четыре группы лошадей Пржевальского были собраны вместе в одном вольере. Егеря объяснили, что вынуждены были принять эту меру предосторожности, чтобы защитить лошадей Пржевальского от браконьеров и от гибридизации с домашними лошадьми.

Таким образом, выводы малоутешительны — выпуск лошадей Пржевальского в природу в Китае пока не состоялся. Возможен ли он вообще? Теоретически — да. Для этого требуется, чтобы заповедник стал охраняемой территорией не только на бумаге, но и в действительности. Чтобы на его территории не велась охота и не выпасался домашний скот, чтобы источники воды были доступны диким животным во все сезоны года. Вокруг заповедника необходимо организовать пятикилометровую буферную зону, на которой будет возможен выпас любого скота, кроме домашних лошадей, чтобы избежать гибридизации с ними лошадей Пржевальского. Продвижение нефтяной промышленности в глубь Джунгарской Гоби тоже должно быть остановлено. Но реально ли все эти мероприятия воплотить в жизнь? ■

## Литература

1. Пржевальский Н.М. Из Зайсана через Хами в Тибет и на верховья Желтой реки (Третье путешествие в Центральную Азию). СПб., 1883.
2. Грум-Гржимайло М. Дикая лошадь (*Equus przewalskii*). Из дневника путешествия в Китай 1889-90 // Нива. 1892. №17. С.374—379.
3. Klingel H. Kalameili — Future Home of the Przewalski Horse? // 5 Internationales Symposium zur Erhaltung des Przewalskipferdes. Leipzig, 1990. S.221—224.
4. Zhao T., Liang G. On Returning to its Native Place and Conservating of the Przewalski Horse // 5 Internationales Symposium zur Erhaltung des Przewalskipferdes, Zoologischer Garten. Leipzig, 1990. S.227—231.

# Кайнозойская эволюция юго-восточной части Тихого океана

## 202-й рейс «ДЖОИДЕС Резолюшн»

И.А.Басов,

доктор геолого-минералогических наук

Н.К.Рубаник

Геологический институт РАН  
Москва

Из-за географической удаленности юго-восточная часть Тихого океана остается до сих пор слабо изученной. Практически ничего не известно, в частности, о связи океанологических процессов, происходивших в этом регионе, с крупными тектоническими и климатическими событиями в Южном полушарии в позднем кайнозое. (В это время произошло раскрытие пролива Дрейка и закрытие Панамского пролива, воздымание горных сооружений Анд и формирование ледового щита в Антарктиде.) Неясно взаимоотношение между климатическими колебаниями и биогеохимическими циклами в высоких и экваториальных широтах Тихого океана, которые связаны с ритмическими изменениями земной орбиты. Мало известно также о региональных особенностях эволюции климата, биоты и химического состава водных масс и их взаимодействии с глобальными процессами.

Бурение в 202-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн», который состоялся в марте—мае 2002 г., должно было восполнить этот пробел в изучении кайнозойской эволюции этой части океана. Рейс проходил вдоль западного побережья Юж-

ной Америки под научным руководством А.Микса (Орегонский университет, США) и К.Тидеманна (Центр морских исследований, Германия); П.Блам представлял Программу океанского бурения [1].

В рейсе пробурено 39 скважин в 11 точках (1232–1242), расположенных в районе приблизительно между 10° с.ш. и 40° ю.ш. в интервале глубин от 489 до 4072 м (рис.1). Благодаря широкому применению современной технологии бурения, обеспечивающей почти 100-процентный выход керна, в рейсе удалось получить более чем семикилометровую колонку осадков, которые содержат детальную информацию о различных аспектах истории развития юго-восточной части Тихого океана в позднем кайнозое. В четырех точках (1232–1235) на Чилийской окраине и в Чилийской котловине скважины вскрыли лишь четвертичные осадки. В других точках бурение было завершено либо в верхнеплиоценовых (скважина 1240 в Панамской котловине, скважина 1242 на хребте Кокос), либо в среднемиоценовых (скв. 1238 и 1239 на хребте Карнеги, скв. 1241 на хребте Кокос), либо в олигоценовых (скв. 1236 и 1237 на хребте Наска) осадках (рис.2).

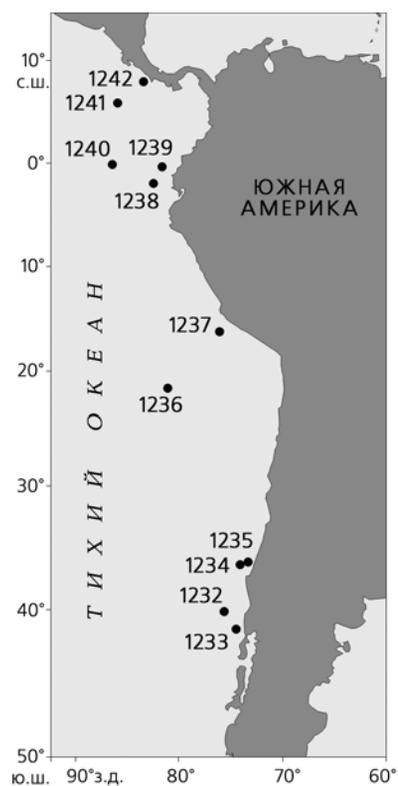


Рис. 1. Скважины, пробуренные в 202-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн».

Полученный керн представляет собой уникальный материал. Его предварительный анализ уже позволил выявить некоторые наиболее значимые события, которые оказали существ-

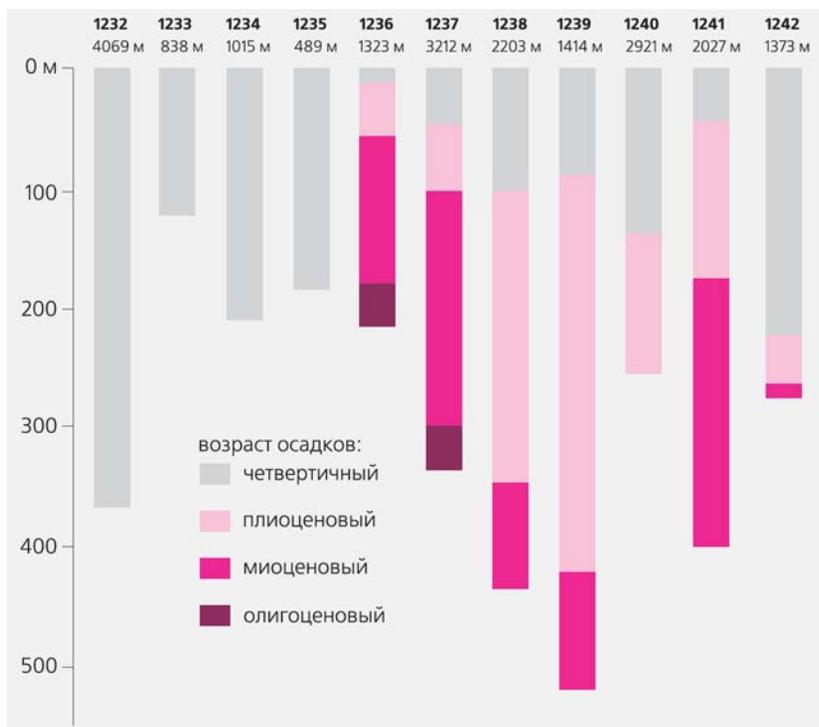


Рис.2. Корреляция разрезов скважин, пробуренных в 202-м рейсе «ДЖОИДЕС Резолюшн».

венное влияние на региональные и глобальные процессы.

Так, на основании зафиксированных изменений в темпах осадконакопления и в содержании эолового материала в осадках скважин 1236 и 1237 сделан вывод, что Анды как крупное морфологическое сооружение сформировались в позднем миоцене, около 8 млн лет назад. Этот процесс сопровождался аридизацией суши и увеличением продуктивности вод в зоне экваториальной дивергенции (скв. 1239 и 1241) и в районе, расположенном мористее перуанского побережья. В позднем миоцене этот район, вероятно, находился под влиянием Перу-Чилийского течения (скв. 1236 и 1237), где происходило усиление атмосферной циркуляции, что было отмечено в рейсе 138

[2]. Приблизительно в это же время началось интенсивное извержение вулканов в Центральных Андах, продукты которых за последние 9 млн лет сформировали 55 пепловых прослоев в разрезе скважины 1237. Об интенсивном росте Анд в период с 12 до 8 млн лет назад говорят также увеличение терригенного материала, который Амазонка вынесла в Атлантический океан в это время, и резкая смена в составе его глинистых минералов [3].

Отмеченное в скважинах 1236–1239 и 1241 (приблизительно 7 млн лет назад) увеличение в темпах карбонатакопления свидетельствует, по мнению участников рейса, о позднемиоценовом эпизоде высокой биопродуктивности, который зарегистрирован в это

время в скважинах, пробуренных в пределах экваториальной части Тихого океана и, как считалось, связан с зоной экваториального апвеллинга. Полученные материалы позволяют предполагать, что он может иметь отношение к изменениям в системе восточного пограничного течения или региональном бюджете питательных элементов. Окончание этого эпизода оказалось асинхронным: от 5 млн лет назад в более глубоководных скважинах до 2 млн лет назад в самых мелководных, что объясняется, вероятно, усилением растворения карбоната кальция в ответ на обмеление и последующее закрытие Панамского пролива и развитие глобального конвейера глубоководной циркуляции между Атлантическим и Тихим океанами.

Важное достижение рейса — успешное бурение серии разрезов на чилийской континентальной окраине в интервале глубин 490–1115 м (скв. 1233–1235), характеризующихся исключительно высокими темпами осадконакопления (до 160 см/1000 лет) и высокой степенью детальности. Благодаря доминированию терригенного материала в составе осадков, эти разрезы содержат надежно интерпретируемую запись вариаций магнитного поля на протяжении позднего плейстоцена, что обеспечивает возможность детальных мелкомасштабных региональных и глобальных корреляций морских и континентальных событий.

Полученные в рейсе материалы, по выражению самих его участников, «благодаря высококачественным осадочным разрезам, пробуренным в ранее не опробованном регионе.., открывают новое окно в познание изменений среды». ■

## Литература

1. Mix A.C., Tiedemann R., Blum P. et al. // PODP. Init. Repts. 2002. Leg.202.
2. Hovan S.A. // PODP. Init. Repts. 1995. Leg.138. P.615–625.
3. Curry W.B., Shackleton N.J., Richter C. et al. // PODP. Init. Repts. 1995. Leg.154.

# Каталитический этюд



М.М.Левицкий, В.В.Смирнов

Современное учение о катализе можно уподобить гигантскому живописному полотну, на котором с большого расстояния различимы два частично пересекающихся сюжета. Первый включает процессы, с помощью которых химики стремятся производить то, что давно умела делать природа. Речь идет в первую очередь о синтезе разнообразных органических веществ, получаемых живыми организмами буквально из земли, воды и воздуха. Не пытаясь воспроизвести природу, наши великолепные предшественники достигли многого, например, каталитически связали атмосферный азот. Современные успехи биохимии заставили по-иному взглянуть на многие процессы живого мира, где, как оказалось, властвуют истинные «короли» в мире катализаторов — ферменты. Они проводят синтезы в исключительно мягких условиях, с высокой селективностью и большим выходом.

Второй сюжет охватывает те процессы, которые природа делать не умеет, скорее всего за ненадобностью. Например, ни в живом, ни минеральном мире мы не встречаем полимеризации, галогенирования, нитро-

© Левицкий М.М., Смирнов В.В., 2005



**Михаил Моисеевич Левицкий**, кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института элементоорганических соединений им.А.Н.Несмеянова РАН. Область научных интересов — молекулярный ферромагнетизм, элементоорганические полимеры.

**Владимир Валентинович Смирнов**, доктор химических наук, заведующий лабораторией гомогенного катализа кафедры химической кинетики химического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Занимается гомогенным катализом.

вания и т.п. Тем не менее, реакции такого типа крайне необходимы для получения многих соединений, без которых современная цивилизация обойтись не может. О нескольких небольших зарисовках, дополняющих эту часть большой картины, пойдет речь.

## Испытать металл-органосилоксаны

Модифицированием свойств натурального каучука химики занялись довольно давно. Один из самых удачных результатов — получение хлоропрена: в молекуле изопрена, который представ-

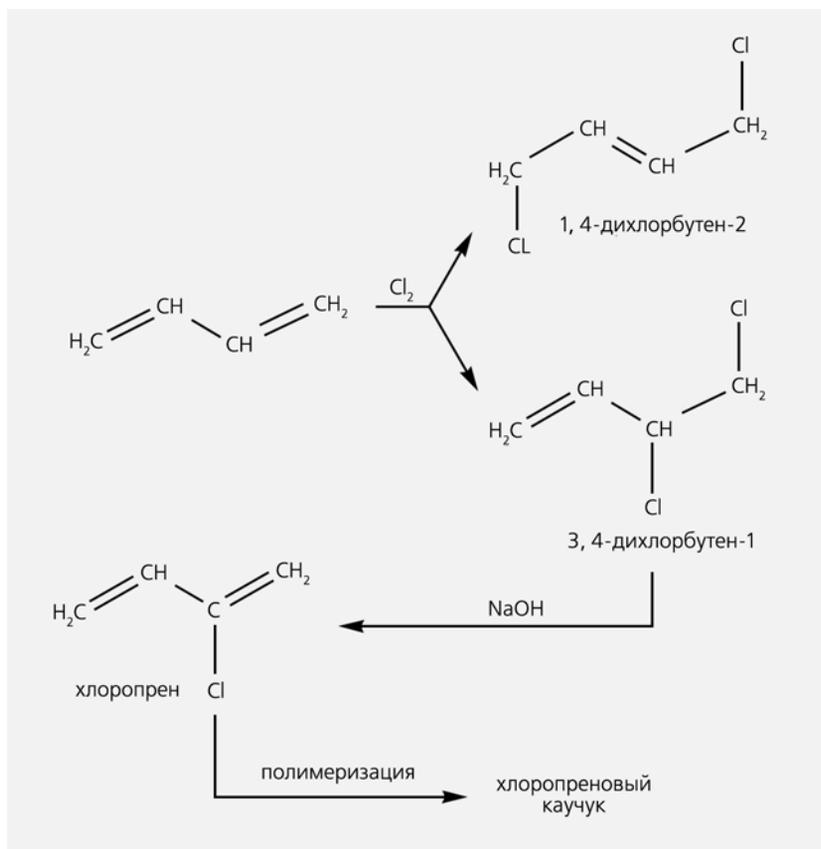


Рис. 1. Схема получения полихлоропрена.

ляет собой мономер натурального каучука  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{C}(\text{CH}_3)=\text{CH}_2$ , метильную группу заменили хлором —  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{C}(\text{Cl})=\text{CH}_2$ .

Полимерный хлоропрен, называемый обычно хлоропреновым каучуком, исключительно устойчив к действию бензина и масел. Синтезируют хлоропрен в три стадии (рис.1). Сначала галогенируют бутадиен, в результате чего возникают два продукта — симметричный 1,4-дихлорбутен-2 (1,4-ДХБ) и несимметричный 3,4-дихлорбутен-1 (3,4-ДХБ). Затем отщепляют  $\text{HCl}$  от несимметричного соединения (симметричный продукт галогенирования не годится) действием щелочи и получают хлоропрен. Заканчивается синтез полимеризацией хлоропрена.

На двух последних стадиях выход очень высок — 95–98%, — и только на первой ос-

тавляет желать лучшего. Это связано с тем, что несимметричный продукт галогенирования, необходимый для дальнейших превращений, образуется в количестве почти вдвое меньшем, чем симметричное соединение. Чтобы увеличить выход конечного продукта, в технологическую цепочку включают еще одну стадию — каталитическую изомеризацию симметричного 1,4-дихлорбутена-2 в 3,4-дихлорбутен-1 (рис.2).

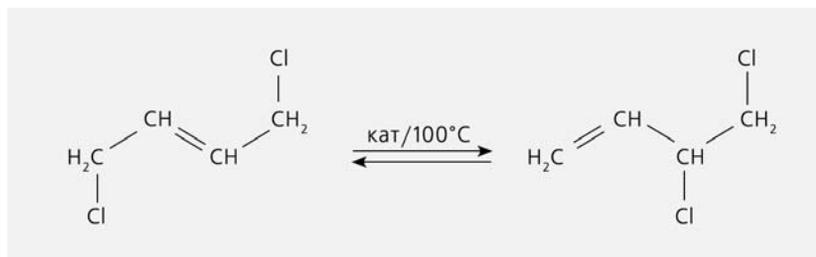


Рис.2. Изомеризация дихлорбутена.

Но применяемые для этого катализаторы — нафтенат меди либо ее галогенид — мало эффективны и довольно быстро теряют активность [1].

В поисках новых катализаторов мы обратились к металлоорганосилоксанам (МОС) — олигомерам (молекулярная масса 1500–2000), содержащим группировки  $-\text{RSi}-\text{O}-\text{M}-\text{O}-\text{RSi}-\text{O}-$ . По существу, МОС представляют собой металлосиликаты, которые обрاملены органическими группами [2]. Они эффективны в качестве катализаторов крекинга (Al, Zr-содержащие МОС), дегидратации спиртов (Mg-содержащие), галогенирования и селективного окисления углеводородов (Fe-содержащие). Каталитический центр любых металлоорганосилоксанов — ион металла, находящийся в силоксановом окружении. Для изомеризации такие катализаторы ранее не применяли.

Нас они привлекли тем, что в процессе синтеза в их структуру можно вводить разные атомы металлов, плавно регулируя атомное соотношение  $\text{M}/\text{Si}$ . Кроме того, МОС растворимы в ацетоне, толуоле, спиртах, следовательно, пригодны как для гомогенного, так и гетерогенного катализа. Естественно, мы опробовали оба варианта.

Для исследования каталитической активности мы, казалось бы, должны следить за превращением симметричного продукта галогенирования (1,4-ДХБ) в целевое несимметричное соединение. Однако он для кинетических измерений не годится, потому что существует в виде *цис*- и *транс*-стереоизомеров, которые

изомеризуются с несколько различающимися скоростями. В результате возникает необходимость следить за изменением концентрации двух веществ одновременно, что экспериментально сложнее и к тому же снижает точность измерений. Конечный продукт 3,4-ДХБ, в отличие от исходного, не образует стереоизомеров, мы этим воспользовались и стали измерять не то, что нужно, а то, что удобно.

Изомеризация — равновесная реакция (см. рис.2), следовательно, можно наблюдать не за прямым процессом, а за обратным, взяв в качестве исходного несимметричное соединение 3,4-ДХБ. Равновесие приведет в итоге к тому же соотношению компонентов реакции, что и прямой процесс. Катализатор не может сдвинуть равновесие: если в его присутствии увеличивается скорость прямой реакции, то возрастает и скорость обратной. Таким образом, задача катализатора — ускорить обе реакции, т.е. сократить время, которое необходимо для достижения равновесия. Далее задача решалась чисто технически. После того как достигалось равновесие, из реакционной смеси отгоняли несимметричный продукт (он кипит при более низкой температуре), а в остатке вновь восстанавливалась его равновесная концентрация в полном соответствии с законом действующих масс. Чем быстрее достигается равновесие, тем эффективнее процесс и, следовательно, тем лучше работает катализатор.

Выбранные нами металлорганосилоксаны, ранее не изучавшиеся в процессах такого типа, оправдали возлагаемые на них надежды.

Для гомогенного катализа были выбраны МОС с тем металлом, который используют в традиционных катализаторах, т.е. медь. Активность Cu-содержащих соединений с фенильной группой у кремния оказалась весьма высокой: конверсия в течение 80 мин достигала 75%, однако при большем времени ра-

боты металлорганосилоксан выпадал в осадок, образующийся из-за межмолекулярных сшивок [3]. В связи с этим мы стали ориентироваться на более устойчивые формы катализаторов, полученных нанесением МОС на поверхность силикагеля. Катализатор закреплялся на поверхности минерального носителя благодаря взаимодействию при повышенной температуре собственных остаточных гидроксильных групп с поверхностными гидроксильными группами силикагеля.

Перейдя к гетерогенному катализу, мы расширили набор металлов, вводимых в силоксановую цепь, и исследовали Cu-, Со- и Fe-содержащие органосилоксаны с фенильной группой у кремния [4].

Из экспериментов следовало, что наиболее активны Cu-содержащие фенилсилоксаны: конверсия 3,4-ДХБ в течение 60 мин составляла 72%, что почти в 4 раза превышало конверсию на эталонном катализаторе — аминном комплексе  $\{[Cu \cdot (NEt_3)_n]Cl_2\}_m$ . Кобальт- и железосодержащие катализаторы проявили себя в ином: при изомеризации несимметричного 3,4-дихлорбутена возникал исключительно *транс*-изомер 1,4-дихлорбутена, в то время как на медьсодержащем катализаторе образовывалась смесь *цис*- и *транс*-изомеров. Полученные результаты интересны тем, что указывают путь к дальнейшему выяснению деталей механизма. Впрочем, повышенная каталитическая активность ионов меди в сравнении с остальными металлами удачно дополняет существующие представления о протекании процесса: работа катализатора связана с промежуточным частичным восстановлением металла. А среди исследованных нами метал-

лов медь наиболее склонна к восстановлению.

Изучив подробнее изомеризацию при различном содержании Cu на носителе, мы установили, что процесс суммарно описывается кинетическим уравнением не совсем обычного вида:  $v = k[ДХБ][Cu]^{0.5}$ . Показатель степени 0.5 указывает на то, что существенное увеличение количества катализатора не приводит к заметному возрастанию степени конверсии. Следовательно, его избыточное нанесение на силикагель нецелесообразно. Из этих результатов мы нашли, что оптимальное содержание каталитических центров фенилсилоксана на носителе составляет 0.6—0.8%.

Наиболее заметно новый катализатор отличается от изученных ранее исключительно высокой стабильностью каталитических свойств: многократно (6—10 раз) использованный, он почти не снижает активности.

Благодаря обнаруженным в экспериментах свойствам медьсодержащего фенилсилоксана мы смогли включить в исследования более широкий круг катализируемых реакций.

### Галогенировать без элементарного галоида

Хлоруглеводороды служат исходными соединениями для синтеза самых разнообразных органических веществ. В химической промышленности чаще всего используется галогенирование элементарным хлором (заметим, такие производства загрязняют окружающую среду).

Существуют иные пути получения хлоруглеводородов, например, обменное галогенирование  $CCl_4$  с алканами (рис.3).



Рис.3. Обменное галогенирование  $CCl_4$  с углеводородом.

Мы исследовали пару реагентов декан— $\text{CCl}_4$ , взаимодействие в которой катализировали комплексом галогенида меди  $[\text{Cu} \cdot (\text{DMFA})_n] \text{Cl}_2$ . К сожалению, он быстро дезактивировался, и мы взялись за медьсодержащий фенилсилоксан. По каталитической активности он в 4—5 раз уступал комплексу меди, но отчетливо превосходил по стабильности каталитических свойств: его активность практически не снижалась после пятикратного использования, в то время как эталонный катализатор полностью терял работоспособность в течение одного цикла [5].

В ходе изучения процесса мы выяснили, что так же, как в рассмотренной только что изомеризации, увеличение количества катализатора не дает существенного выигрыша в конверсии. Чтобы детальнее исследовать это явление, мы оценили активность катализатора как конверсию, приходящуюся на один моль меди [6]. Оказалось, что максимальной активностью бывает при весьма низком содержании каталитических центров на носителе — до 0.1%. Это нельзя было объяснить тем, что часть их находится в глубинных слоях катализатора и потому не участвует в катализе. Причины обнаружились при изучении особенностей строения самого катализатора.

В двух упомянутых катализаторах — комплексе галогенида меди и медьсодержащем фенилсилоксане — координационные сферы иона меди (т.е. атомы, окружающие Cu) различаются. Следовательно, сравнив работу этих катализаторов в обменном галогенировании, можно выяснить некоторые детали каталитического механизма.

*A priori* возможны три варианта:

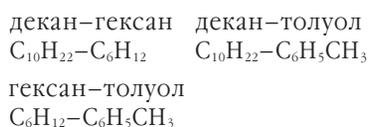
— радикально-цепной механизм (с участием ионов меди переменной валентности);

— окислительное присоединение  $\text{CCl}_4$  к металлическому

центру, протекающее в координационной сфере металла;

— стабилизация радикала  $\cdot\text{CCl}_3$  в координационной сфере металла.

Чтобы понять, какой именно вариант действует, мы исследовали поведение двух этих катализаторов при совместном хлорировании трех пар углеводородов [5]:



Два результата косвенно указывали на то, что реализуется радикально-цепной механизм: в толуоле хлорированию подвергалась преимущественно метильная группа; при хлорировании декана практически не затрагивались концевые группы  $\text{CH}_3$ . Все это характерно для реакций отрыва атома водорода радикалом  $\cdot\text{CCl}_3$ .

Мы рассудили, что если справедлива радикально-цепная схема, то при конкурирующем хлорировании двух углеводородов соотношение продуктов реакции должно соответствовать известным из литературы данным об активности атомов водорода при атаке связей C—H радикалом  $\cdot\text{CCl}_3$ . Кроме того, относительная реакционная способность не должна зависеть от типа комплекса, содержащего медь.

Если же процесс протекает в координационной сфере металла (как во втором и третьем вариантах), то особенность строения катализатора должна сказываться заметно, а соотно-

шение продуктов должно отличаться от обычного соотношения активностей реакционных центров при атаке  $\cdot\text{CCl}_3$ .

Результаты совместного хлорирования указанных трех пар углеводородов и поочередного использования двух катализаторов показали, что процесс протекает по радикально-цепному механизму. Действительно, соотношение продуктов хлорирования соответствовало взятым из литературы соотношениям реакционной способности атомов водорода при их отрыве радикалом  $\cdot\text{CCl}_3$  и практически не зависело от типа катализатора.

Обменное галогенирование мы изучили, используя еще один галогенирующий агент —  $\text{CBr}_4$  [7]. В итоге удалось выработать общую схему процесса (рис.4). Она состоит из двух равноправных ветвей. Первая — это превращение каталитического центра: согласно классической схеме, катализатор после участия в реакции возвращается в исходное состояние. Вторая ветвь — передача радикального центра по цепочке: от радикала  $\cdot\text{CHal}_3$  к углеводороду, затем вновь к  $\text{CHal}_4$  и т.д., в полном соответствии с определением радикально-цепных реакций.

В предложенной схеме есть одна деталь, которая требует пояснения. В медьсодержащем силоксановом катализаторе атом меди находится в состоянии Cu(II), а на схеме процесс начинается с Cu(I). Причину несоответствия удалось найти с помощью процедуры, которая позволяет обнаружить атомы

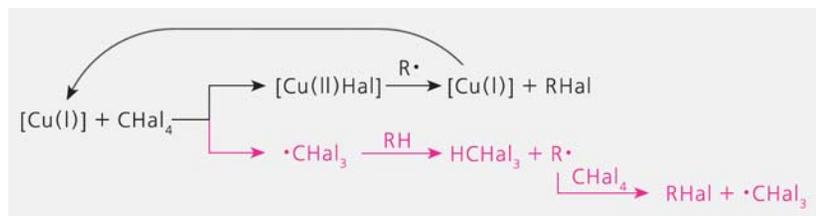


Рис.4. Общая схема обменного галогенирования. Верхняя ветвь — превращение каталитического центра, нижняя — радикально-цепной процесс.

меди, находящиеся в разной степени окисления. Исходные и выдержанные при 150°C (стадия, завершающая подготовку катализатора к дальнейшему его использованию) катализаторы мы обработали азотсодержащими лигандами и проанализировали их УФ-спектры [8]. Оказалось, что незначительная часть атомов меди при термообработке частично восстанавливается, и этого вполне достаточно, чтобы началась радикально-цепная реакция. Далее новые каталитические центры Cu(I) образуются благодаря возникающим в реакционной системе свободным радикалам.

## Предотвратить координацию

В процессе обменного галогенирования хлор присоединяется к любому из вторичных атомов углерода в декане, не затрагиваются лишь концевые CH<sub>3</sub>-группы. В результате образуется смесь монохлордеканов. Такая скромная селективность обычно не удовлетворяет химиков; частично ее можно усилить заменив ненасыщенный углеводород насыщенным в качестве исходного реагента. Если вместо алкана взять алкен, положение двойной связи само укажет то место, куда должен присоединиться Cl, а также фрагмент CCl<sub>3</sub> (рис.5).

Каталитическое обменное галогенирование в этом случае протекает тоже по радикальной схеме, но с некоторым отличием: при участии двойной связи олефина радикальный центр образуется легче. Факт вполне ожидаемый; радикальная полимеризация олефиновых мономеров именно поэтому столь широко распространена.



Рис.5. Каталитическое присоединение CCl<sub>4</sub> к олефину.

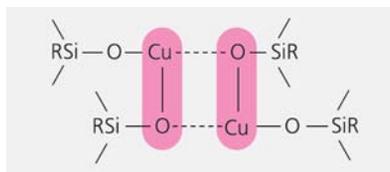


Рис.6. Координационные межцепные кластеры в металлоорганосилоксанах.

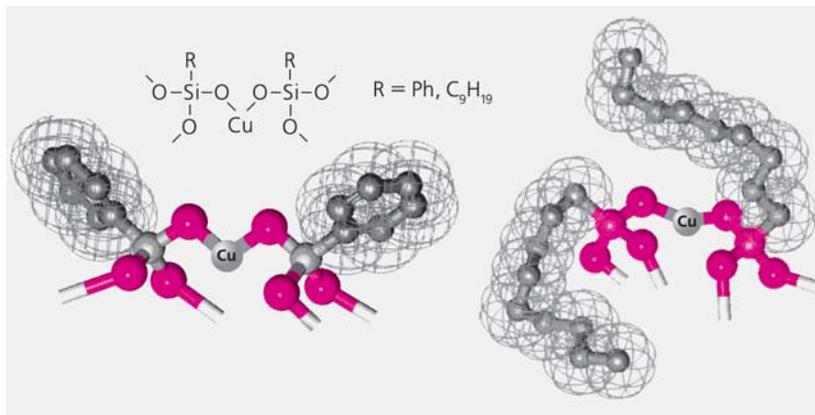


Рис.7. Фенил (Ph)- и нонилсодержащие медьсилосаны. Сетчатая поверхность условно обозначает ван-дер-ваальсовы радиусы, т.е. ту часть пространства, которую действительно занимает фрагмент молекулы.

Так же, как в предыдущих двух процессах, катализатор сохранял стабильность каталитических свойств при многократном использовании [8]. Интересно, что вновь подтвердилась уже отмеченная особенность: катализатор проявляет максимальную активность (определяемую как конверсия, приходящаяся на один каталитический центр) при очень малом его содержании на носителе — до 0.2% меди. Очевидно, что прослеживается закономерность, и она требует объяснения.

Итак, большая часть атомов меди почему-то «выключена» из катализа. Нам удалось обнаружить причину этого с помощью магнитных измерений и спектральных исследований исходных металлоорганосилоксанов. Выяснилось, что значительная часть атомов металла связана

в межцепные координационные кластеры [2] (рис.6). Металл стремится заполнить свою координационную сферу, привлекая атомы кислорода соседних фрагментов —Si—O—M—, а оказавшись координационно-насыщенным, с трудом взаимодействует с реагентом CCl<sub>4</sub>.

Как предотвратить образование межцепных кластеров? Можно, например, «укрыть» металл каким-либо лигандом. Это, безусловно, затормозит межцепную координацию, но не поможет решить основную задачу, поскольку лиганд в свою очередь затруднит приближение реагента. Тем не менее мы справились с ней, когда привлекли к участию органическую группу, связав ее с кремнием. Жесткая и мало подвижная фенильная группа, обрамляющая кремний в исследованных металлоорганосилоксанах, не может препятствовать координационному взаимодействию атомов меди в соседних цепях. Если заменить фенильную группу на нонильную, ситуация меняется (рис.7). Объемистая алифатическая

группа будто «окутывает» металлические центры и потому эффективно предотвращает координационное взаимодействие атомов меди в соседних цепях. Но в реакционной среде эта группа обладает подвижностью полимерного сегмента и не препятствует приближению органического реагента к каталитическому центру. Таким образом, четыреххлористый углерод как бы отодвигает нонильную группу, чего не может сделать атом меди соседней цепи.

Судя по результатам экспериментов, в каталитическом присоединении  $\text{CCl}_4$  к октену-1 активность медьсилоксанов, обрамленных нонильными группами, вдвое выше, чем медьфенилсилоксанов [9].

Очевидно, что каталитические возможности металлорганосилоксанов не исчерпаны, впереди поиски новых способов структурного регулирования их каталитических свойств.

То живописное полотно, о котором говорилось в начале

статьи, постоянно расширяется и дополняется. Но это не мешает нам смотреть с интересом на всю картину в целом, всматриваться в ее отдельные фрагменты, наблюдая за тем, как развивается замечательная область химии, именуемая катализом. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 97-03-32074а и 00-03-32211а.**

## Литература

1. Смирнов В.В., Левицкий М.М., Невская С.М., Бучаченко А.Л. // Известия РАН. Сер. химическая. 1997. Т.1. С.209—210.
2. Левицкий М.М. // Российский хим. журн. 2002. Т.XLVI. №3. С.51—63.
3. Левицкий М.М., Кокорин А.И., Смирнов В.В. и др. // Известия РАН. Сер. химическая. 1998. Т.10. С.1946—1949.
4. Смирнов В.В., Левицкий М.М., Невская С.М., Голубева Е.Н. // Кинетика и катализ. 1999. Т.40. №1. С.86—89.
5. Смирнов В.В., Голубева Е.Н., Загорская О.А. и др. // Кинетика и катализ. 2000. Т.41. №3. С.439—442.
6. Смирнов В.В., Левицкий М.М., Тарханова И.Г. и др. // Кинетика и катализ. 2001. Т.42. №4. С.560—564.
7. Smirnov V.V., Zelikman V.M., Beletskaya I.P. et al. // Mendeleev Communication. 2000. №5. P.175—176.
8. Смирнов В.В., Левицкий М.М., Тарханова И.Г. и др. // Кинетика и катализ. 2001. Т.42. №5. С.737—740.
9. Смирнов В.В., Левицкий М.М., Тарханова И.Г. и др. // Кинетика и катализ. 2003. Т.44. №4. С.625—628.

### Медицина. Археология

#### Трепанация черепа в XI веке

Английские врачи в Средние века умели делать трепанацию черепа — об этом свидетельствует недавняя находка С.Мэйса (S.Mays; Археологический центр английского наследия). Исследователь обнаружил скелет жившего в начале XI в. йоркширского крестьянина, череп которого был вскрыт хирургом. Операция прошла удачно — об этом говорят оставшиеся рубцы.

Трепанации проводились и в древности — на это указывают многие археологические находки; кроме того, о таких вмешательствах упоминают некоторые античные авторы. Однако затем эта практика прекратилась примерно на тысячелетие (по крайней мере, досто-

верных доказательств ее продолжения в этот период нет). Sciences et Avenir. 2004. №693. P.32 (Франция).

### Ихтиология

#### Рекордный улов

В июне 2004 г. некий британец с весьма распространенным именем Роберт Дейвис выловил в заливе Суонси у берегов Уэльса осетра (*Acipenser*) невиданных размеров: длина от носа до хвоста 2.75 м, а вес более 130 кг.

С XIV в. в Англии существует не отмененный доселе закон, согласно которому подобная рыба должна быть «представлена королевскому двору», что законопослушный рыбак и сделал письменно. В официальном ответе из Букингемского дворца ему разрешалось поступить

с добычей по собственному усмотрению.

Дейвис устроил аукцион, на котором осетра за 1200 долл. США купил один лондонский ресторатор. Но тут вмешалась местная полиция и конфисковала рыбину под предлогом, что в ней содержалась осетровая икра, которая — уже по новейшим английским законам — подлежит строгой охране. Однако на следующий день рыба из полицейского участка таинственно исчезла и столь же таинственно вскоре обнаружилась. Купивший ее владелец подарил осетра Музею естественной истории в Лондоне. Радость куратора ихтиологического отдела не поддается описанию, а около новой экспозиции теперь постоянно толпятся посетители.

Science. 2004. V.305. №5680. P.38 (США).



# Алгебра и гармония социальных структур: от общины до империи

С.А.Боринская,

*кандидат биологических наук*

*Институт общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН*

А.В.Коротаев,

*доктор исторических наук*

*Институт востоковедения РАН*

*Москва*

При подходе к изучению устройства и развития обществ преобладают два направления. Так, можно уделять особое внимание тому, что отличает одно общество от другого, делает каждый народ уникальным и неповторимым. Другие исследователи пытаются постигнуть общие закономерности, проявляющиеся в жизни и развитии обществ, сравнивая их устройство и культуру.

Во второй половине XIX в. Э.Тайлор, Л.Морган и другие основатели области знания, изучающего причины и характер культурных различий, пути появления и развития общества (в разных странах эта область знания носит разные названия: этнография, этнология, культурная антропология), оказались под сильным влиянием идей классического эволюционизма. Одна из них — представление об однолинейном развитии человеческих обществ от простых, «низших» форм к сложным, «высшим» через ту или иную единую для всех последовательность стадий. Именно эти идеи классического (XIX в. издания) эволюционизма вошли в состав марксистского учения и потому хорошо знакомы отечественному читателю старшего поколения.

© Боринская С.А., Коротаев А.В., 2005

Они выражены в известном утверждении Маркса: «Возьмите определенную ступень развития производительных сил людей, и получите определенную форму обмена и потребления». Однако за 100 лет исследований не было найдено ни одной пары жестко скоррелированных друг с другом эволюционных показателей ни среди перечисленных Марксом, ни среди любых других параметров, отражающих устройство общества. Связь разных характеристик социальной структуры в эволюции обществ проявляется как не слишком жесткие корреляции, так что утверждение Маркса следует заменить следующим: «Возьмите определенную ступень развития производительных сил людей, и получите несколько определенных форм обмена и потребления, но с разной степенью вероятности».

Недостатки классических эволюционных схем были подвергнуты конструктивной критике еще в XIX в., и уже тогда были заложены основы перехода к более сложным и более реалистичным моделям.

## Сравнение культур

В начале XX в. на смену примитивным «классическим» однолинейным схемам пришло

полное отрицание каких бы то ни было закономерностей движения социокультурных систем. На смену парадигмы значительное влияние оказал Ф.Боас, лидер североамериканской социокультурной антропологии, делавший акцент на изучении уникальных характеристик общества.

В Европе под влиянием британского этнографа польского происхождения Бронислава Малиновского фокус в изучении обществ перешел от исторических, диахронных, к синхронным исследованиям, что в контексте социокультурной антропологии означало изучение функционирования обществ, а не их эволюции.

Традиции эволюционизма в США продолжил А.Келлер, заведовавший кафедрой социологии Йельского университета, и его последователь Дж.П.Мердок. В начале 30-х годов Мердок опубликовал статью «Наука о культуре», в которой привлек внимание читателей к тому, что социокультурная антропология накопила огромное количество этнографических фактов, большая часть которых не была подвергнута глубокому анализу. Каждое новое поколение антропологов производило на свет горы новых этнографических описаний, обобщить которые было практически невоз-

можно. С точки зрения Мердока, поиски социальных закономерностей должны базироваться на выборках обществ, представляющих собой основные культурные ареалы мира; используемые переменные должны быть строго и однообразно определены для каждого включенного в исследование общества, а предполагаемые связи между переменными должны быть подвергнуты статистической проверке. Идея применения методов математической статистики в антропологических исследованиях высказана еще в XIX в. Ф.Гальтоном в его комментариях к работе Тайлора. Дальнейшее развитие этих принципов привело Мердока к созданию баз данных, содержащих формализованную информацию по репрезентативным выборкам культур всего мира.

Такие базы данных могли (на основе строгих статистических критериев) подтверждать или отвергать выдвинутые гипотезы о закономерностях, связывающих развитие одних социальных структур с другими. В рамках остальных антропологических направлений проверка выдвинутых гипотез в большинстве случаев подменяется подбором примеров.

Мердок поставил целью собрать и классифицировать информацию по репрезентативной выборке народов всего мира и представить ее в легко доступной для статистической проверки форме. Его работа привела к созданию баз данных (хотя в 30–40-х годах, в докомпьютерную эру, самого этого словосочетания еще не существовало), содержащих этнографические описания народов мира, в том числе и широко известного «Этнографического атласа» Мердока. Атлас, содержащий описания 863 культур по более чем 100 показателям, был опубликован в 1967 г. в журнале «Ethnology». Но и после этого Мердок продолжал публиковать собранные им данные. К 1973 г.

размер выборки составил 1267 народов мира. В «Атласе» были включены народы преимущественно доиндустриальных обществ, описания развитых западных стран в него не вошли. Не вошли, за небольшим исключением, и описания народов бывшего СССР — просто потому, что создателям «Атласа» оказались труднодоступны издания на русском языке.

В «Этнографическом атласе» представлено лишь 26 этнических групп бывшего СССР, тогда как по одной только Эфиопии дано описание около 150 этнических групп, около 100 групп для Северо-Восточной Индии, а по Нигерии — 70. Этот пробел восполняется в настоящее время в рамках проекта, поддержанного Российским фондом фундаментальных исследований.

Полная сводка данных «Этнографического атласа» так и не была опубликована — она доступна для исследователей только в электронном формате. Этот гигантский массив данных появился в итоге обобщения и координации работы самостоятельных исследователей на основе разработанных Мердоком и его группой принципов. Продемонстрируем возможности кросс-культурных исследований на простом примере.

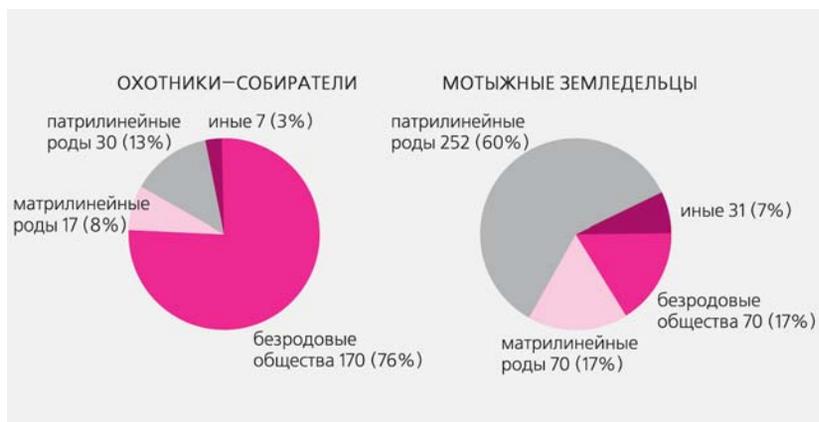
## А был ли матриархат?

Практически все классические эволюционисты были убеждены, что история человечества прошла через две универсальные эпохи — матриархат и патриархат. По мере накопления этнографических и исторических данных выяснилось, что ни единого достоверного свидетельства о существовании в истории хотя бы одного матриархального общества нет. Уже в конце XIX в. эта теория подверглась серьезным атакам.

Несколько дольше продержалась «мягкая» версия матриархальной теории, в которой

шла речь уже не об универсальной смене «власти женщин» «властью мужчин», а о переходе от матрилинейной родовой организации (то есть такой, в которой счет родства ведется по материнской линии) и матрилокального брачного поселения (то есть такого, при котором муж переходит жить в поселение жены) к патрилинейной родовой организации и патрилокальному поселению (где счет родства ведется по отцовской линии, и супруги живут на территории мужа). Однако и эти представления были опровергнуты в начале XX в. Следует отметить «особый путь» развития отечественной науки, связанный с тем, что в Советском Союзе была табуирована критика официальной коммунистической идеологии или каких-либо ее элементов, в том числе и представлений о развитии обществ. В результате многие конкретные положения классического эволюционизма XIX в., вошедшие в работы К.Маркса и Ф.Энгельса, оказались «сакрализованными». Такого рода сакрализации подверглась и теория матриархата, опровергнутая мировой наукой за много лет до большевистского переворота. Представления об «эпохе матриархата» лишь недавно исчезли из большинства российских учебников, однако значительная доля населения нашей страны, видимо, до сих пор не сомневается в существовании такого этапа в развитии человечества.

Предположение о том, что «матриархальные» (то есть матрилинейные и матрилокальные) общества предшествовали патрилинейным и патрилокальным, легко поддается эмпирической проверке. Для этого надо сравнить собранные этнографами данные о типе родовой организации (матрилинейная или патрилинейная) и типе поселения (матрилокальное или патрилокальное). Эти данные представлены в «Атласе» Мердока.



Типы родовой организации у охотников и мотыжных земледельцев. По данным «Этнографического атласа» Дж.П.Мердока для 224 обществ охотников-собирателей и 423 обществ мотыжных земледельцев.

Среди 224 обществ охотников и собирателей лишь 17 (8%) имеют матрилинейный род, 30 (13%) имеют патрилинейный род, 7 имеют родовую организацию иного типа, а большинство (170 обществ) родовой организации не имеют. Среди 423 обществ мотыжных земледельцев явно больше обществ с матрилинейным родом (17%). В целом матрилинейные общества встречаются вообще достаточно редко (менее 20% случаев), при этом повышенный процент их наблюдается в обществах со средним уровнем культурной сложности — мотыжных, бесплужных земледельцев. В обществах с плужным земледелием число матрилинейных групп снижается.

Аналогична ситуация и с матрилокальностью поселений. Закономерность, которую мы наблюдаем, прямо противоположна той, которую отстаивали эволюционисты-классики. Статистический анализ показывает, что корреляция между матрилинейностью и переходом к мотыжному земледелию — не случайное совпадение. Отметим, что все это достаточно четко (хотя и без проведения статистической оценки) было показано еще в 1905 г. исследователем Дж.Свэнтоном.

### Что сравнивать?

Невозможно сравнивать между собой общества в целом — каждая социальная система неповторима и уникальна. Но можно сравнивать показатели, имеющие определенные числовые выражения, например, численность населения или формы организации общества. По сути, общество должно обеспечить те же функции, что и любой живой организм, — питание, воспроизведение (биологическое и культурное), защиту. Рассмотрим, в какой форме представлены соответствующие системы в «Этнографическом атласе».

Экономическая система описывается переменными, отражающими тип хозяйства (присваивающее или производящее): собирательство, охота, рыбная ловля, скотоводство и земледелие. Для каждого вида деятельности оценен количественный вклад в хозяйство. Описан также вид земледелия — плужное или мотыжное, и некоторые другие характеристики.

В описании брачной системы и семейной организации указана форма брака — моногамный или полигамный, виды полигамного брака — полиандрия (многомужество) или поли-

гиния (многоженство). Для полигинии указан ее вид (единичная, обычно только для элиты, или общераспространенная). Описан счет родства — по материнской или по отцовской линии, термины родства, отражающие важность тех или иных родственных связей, локальность поселения семьи после заключения брака (у родственников жены или у мужа). Приведены данные о социальной иерархии, типе социально-политической организации и характере власти: эгалитарные—неэгалитарные общества (гендерное разделение, кастовое, сословное, классовое), число иерархических уровней в организации общества, соответствующее численности объединяемых им людей (от локальной общины в 20—30 человек до федеративных государств с многомиллионным населением) и т.п. Описана религия, системы табу.

Уже только элементарный подсчет обществ с той или иной характеристикой позволяет сделать некоторые выводы. Например, о брачных системах. Среди 1231, для которых доступны данные, в 186 принята моногамия, в 4 — полиандрия, а в остальных — различные формы полигинного брака. То есть в 85% обществ мира, представленных в выборке Мердока, разрешены полигинные браки.

В европейской традиции (в том числе и для большинства россиян) полигиния однозначно связывается с исламом, так как ислам был ближайшим к европейцам среди полигинных культур. Однако эта ассоциация неоправдана, исторически в большинстве обществ моногамии не было. В Греции и Риме при моногамном браке не были запрещены сексуальные отношения с рабынями. Распространение христианства с его строгим запретом полигинии привело к моногамности в зоне его влияния. Подавляющее большинство обществ за пределами христианского мира полигамны. Интересно, что в Африке ис-

ламизация снизила степень полигинии. Полигиния выгодна для семьи, когда женщина вносит основной вклад в хозяйство. Однако по нормам ислама — добытчик в доме мужчина, а он не всегда способен прокормить много жен. Поэтому в Африке исламизация приводит к снижению числа жен.

## Просто ли иметь много жен?

Кросс-культурный анализ показывает, что ответ на этот вопрос зависит не столько от сердечных чувств, сколько от типа хозяйства и разделения труда между мужчинами и женщинами. Среди мотыжных земледельцев чаще (по сравнению как с охотниками-собираателями, так и с плужными земледельцами) встречается не только описанная выше матрилинейность, но и многоженство (полигиния). Это легко объяснимо.

При мотыжном земледелии главный работник — женщина. Поэтому если мужчина в данном обществе берет пять жен, он получает прежде всего десять рук, которые вполне могут прокормить и себя, и его самого, и детей. При плужном земледелии землю пашет всегда мужчина, именно он — главный добытчик хлеба. В этом случае, приобретая пять жен, мужчина приобретает пять (а потенциально и значительно больше) ртов, которые кормить придется ему самому, и не факт, что он реально сможет это сделать.

Полигинные семьи имеют определенные особенности в воспитании детей. Доказано, что мальчики, растущие преимущественно в женском окружении (полигинных семьях), склонны к развитию агрессивного доминантного поведения. Американский исследователь Р.Ронер показал, что развитие такого типа личности сильно коррелирует с недостатком родительского общения. Подобный недостаток типичен имен-

но для полигинных семей, характеризующихся, как правило, низкой степенью кооперации между женами. Детям недостает родительского тепла, проявлений любви, они часто подвергаются строгим наказаниям, что и ведет к становлению типа взрослой личности, ориентированной на агрессию и доминирование.

## Локальность брачного поселения

То, на чьей территории будут жить супруги после вступления в брак, определяется традициями общества, экономическими условиями и наличием или отсутствием военных действий.

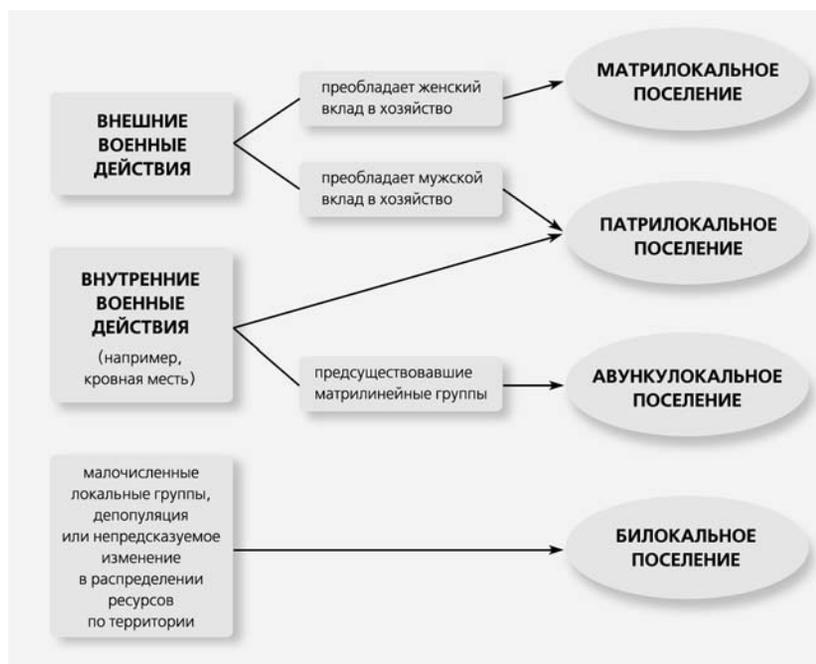
Матрилокальность коррелирует с тем, что главным добытчиком является женщина, так как при переходе в новое хозяйство производительность ее труда падает.

При внутренней войне (например, вызванной обычаем

кровной мести) выгодно существование сплоченных мужских родственных групп, что характерно для патрилокальных обществ. Если общество ведет внешние военные действия, то мужчины много времени проводят в походах, а дома остаются женщины. Выгоднее, чтобы они были сестрами, так как сестры между собой ладят лучше, чем свекровь и невестка. В этой ситуации возникает тенденция к матрилокальности.

## Родовая организация

Часть обществ имеет родовую организацию, то есть группы, восходящие к реальному или легендарному общему предку, члены которых оказывают друг другу поддержку в семейных, хозяйственных и военных мероприятиях. К членам рода человек в первую очередь обращается за помощью. Родовая организация присутствовала во многих архаичных обществах,



Причины, от которых зависит характер локальности поселения.

Матрилокальное поселение — муж переходит жить к жене, патрилокальное поселение — жена переходит жить к мужу, билочальное поселение — оба варианта приемлемы, авункулокальное — супруги живут в доме дяди (брата матери) жены.

существует и в современных. Например, у осетин нищенства просто не встретишь — члены рода не допустят, чтобы один из них остался без поддержки. Необычная традиция, называемая «йатифат», описана у йеменцев. Если группа (род, община) оставалась без еды, не могла дожить до следующего урожая, то нищенствовать, обращаться за помощью — значит терять лицо. Достойным считалось, чтобы все члены группы сели в круг и молча умерли. Потеря лица страшнее смерти. Место исполнения обычая называлось маафит. Йеменцы до сих пор рассказывают о случаях исполнения обряда в былые времена. Описан он и в средневековых источниках.

Одним из важнейших факторов развития родовой организации служит так называемая внутренняя война, т.е. высокий уровень насилия внутри общества, когда каждая семья может ждать в любой момент нападения со стороны другой семьи, семейно-родственной группы (например, стремящейся выполнить долг кровной мести). В подобных условиях родители будут крайне заинтересованы, чтобы их защитники-сыновья оставались жить вместе с ними и после создания собственной семьи. То есть ситуация внутренней войны стимулирует образование патрилокального брачного поселения, в результате чего образуются группы семей, мужчины которых ведут свое происхождение от одного предка. Таким образом, даже если ранее в обществе родовой организации не было, то состояние многовековой ситуации «внутренней войны» вызовет ее появление. В то же время пока состояние «внутренней войны» продолжается, трудно ждать исчезновения родовой организации.

В качестве факторов разложения родовой организации рассматривали развитие товарно-денежных отношений, классовой стратификации и государственной организации. Од-

нако простое наблюдение показывает, что граница между обществами с традиционно присутствующей родовой организацией и тем, в которых она отсутствует, проходит в точности вдоль границы между христианским и нехристианским мирами. Это наблюдается не только в Европе, но и в Африке — там родовой организации отсутствует у трех из ста обществ, и как раз эти общества являются христианскими (амхара и тиграи) или исповедуют иудаизм (фалаша). Все исламские и языческие культуры этого ареала имеют родовую организацию.

Кросс-культурный анализ показывает, что в обществах земледельцев и скотоводов глубокая христианизация действительно коррелирует с отсутствием родовой системы. Но, может быть, не христианизация, а политическая централизация и государственность разрушила род в этих обществах? Это предположение можно проверить. Для сложных культур отсутствие родовой организации гораздо сильнее коррелирует с христианизацией, чем с развитием государства.

Если исключить из выборки глубоко христианизированные культуры, то корреляция между политической организацией и наличием рода падает ниже критического уровня. Статистический анализ показывает, что среди факторов разложения родовой организации (развитие государственной организации, классовой стратификации, товарно-денежных отношений и христианизации) глубокая христианизация представляется самым сильным и значимым фактором.

Конечно, родовые группы теряют жизнеспособность в сложных государственно организованных, коммерциализованных обществах из-за того, что функции рода (такие как гарантии безопасности и прав собственности или образование) берут на себя государственные институты (полиция

и суд). В нашем исследовании не идет речь о современных индустриализованных государствах, которые, конечно же, вполне успешно разлагают родовую организацию. Речь идет о традиционных государствах доиндустриальных обществ. Анализ показывает, что они могли преуспеть в разложении родового строя только в паре с «христианским фактором», то есть в том случае, когда государство (даже не очень сильное) действовало совместно с им же поддерживаемой христианской церковью. Исчезновение родового строя имело место во всей христианизированной равнинной Европе задолго до модернизации. Родовая организация сохранялась в некоторых горных периферийных регионах вплоть до XX в. В этих районах и государственная власть была слаба, и христианизация была более поверхностной.

Кроме христианства, систематически разлагает родовую организацию буддизм хинаяны. Обе эти религии проповедуют ненасилие.

Как уже упоминалось выше, родовой организации выгодна в условиях внутренней войны, поэтому религии ненасилия, призывающие к мирным путям решения конфликтов, и могли способствовать ее разложению.

## Насилие в обществе

Военные конфликты влияют не только на сохранение родовой организации. Кросс-национальные и кросс-культурные исследования показывают, что общества, ведущие частые войны, имеют более высокий уровень психологического насилия и межличностной агрессии. В рамках отдельного общества обычно наблюдается тенденция к росту уровня межличностного насилия по завершении войны, притом независимо от того, выиграло данное общество войну или проиграло.

Но наиболее важным фактором, порождающим межличностное насилие, служит такой тип воспитания подростков, который поощряет агрессивное поведение. Например, одобрение взрослыми силового, а не мирного пути разрешения конфликтов, агрессивные игры типа кулачных боев или игр в войну и т.п. Институтом социализации на агрессию может быть и армейская служба. Именно поощрение агрессии у мальчиков старшего подросткового возраста служит главной побудительной причиной частых убийств в обществе. Дополнительный анализ, проведенный американскими антропологами К. и М.Эмбер, позволяет предположить, что и война влияет на уровень насилия внутри общества не непосредственно, а скорее как фактор, усиливающий стремление к агрессии.

### Закономерности социальной эволюции

Кросс-культурные исследования дают возможность сравнить общества, находящиеся на разных уровнях развития. Хотя это синхронные сравнения, правомерность переноса аналогичных данных на исторический материал, по крайней мере в отдельных случаях, возможна. Многие современные представления об историческом развитии обществ сформированы на основе кросс-культурных данных. Существовавшие ранее однолинейные схемы (община—племя—государство) сменились

многолинейными и нелинейными подходами.

Описаны новые формы социальной организации, такие как вождество. Если племя — конфедерации общин, действующих по договоренности, согласованию, то вождество — гораздо более иерархизированная структура, имеющая формального лидера. Коллективное действие в племени принимается на основе соглашения, в вождестве возможно принуждение. Лидеру племени подчиняются в силу его личного авторитета, тогда как вождь может отдавать приказы просто в силу занимаемой позиции. Отличаются они и системами распределения. Вождества могут объединяться (в основном в результате завоевания одной группой других), образуя суперсложные вождества. В состав суперсложных вождеств могут входить и племенные группы, и локальные общины, и даже ранние государства. Кочевые империи степей (например, хунну, тюрки, уйгуры) по своей структуре представляли собой именно вождества. «Имперская» организация у хунну возникла как способ адаптации кочевников к соседним земледельческим цивилизациям. Стабильность степных империй напрямую зависела от умения правителей организовать получение (силой или вымогательством) продуктов земледелия, ремесленных изделий, шелка и изысканных драгоценностей из оседлых обществ. Манипулируя подарками и раздавая их вождям племен, правитель увеличивал свое политическое влия-

ние. Всеобщая вооруженность ограничивала возможности политического давления на составляющие империю племена. Для характеристики таких обществ, более многочисленных и структурно более развитых, чем сложные вождества, но которые в то же время нельзя считать даже ранними государствами, был предложен термин «суперсложное вождество».

Иерархизированной организации вождества и государства можно противопоставить уникальную форму социальной организации народа апатани, живущего в заповедном уголке Восточных Гималаев, в горной долине площадью 30 км<sup>2</sup>, где в семи селениях проживает 11 тыс. человек. Они занимаются земледелием и выпасом скота, не имея основных изобретений цивилизации — у них нет ни железа, ни колеса.

Апатани убеждены, что настоящий мужчина должен не драться, а уметь договариваться. Жители долины все время договариваются — о возмещении ущерба, о наказании (например, казни вора). Равенство поддерживается специальными мерами. При накоплении богатства у какого-то человека он вынужден все раздать — например, устроить пир. Общество уникально и по своим природным условиям, и по структуре. Предполагается, что подобная социальная культура была характерна для многих обществ древности — городов Хараппской цивилизации, кельтских политических объединений до римского завоевания и многих других. ■

# Новости науки

## Космические исследования

### «Cassini» около Сатурна: первые открытия

После семилетнего пребывания в полете автоматическая межпланетная станция «Cassini» (общая масса 5.7 т) в июле 2004 г. сблизилась с Сатурном: аппарат прошел всего в 19.8 тыс. км от его поверхности на скорости около 15 км/с, после чего совершил сложный маневр между кольцами планеты, не задев ни одного из множества сравнительно небольших тел, составляющих эти кольца.

На Землю начала поступать подробнейшая информация о внешнем виде и строении колец, их взаимодействии с самой планетой. Эти данные собирают 12 бортовых приборов, сделанных по заказу НАСА США и Европейского космического агентства. Каждые сутки «Cassini» посылал около 1 Гб информации, преодолевающей расстояние от Сатурна до Земли за 84 мин.

Столь детальные изображения колец было невозможно получать в 1989 и 1981 гг. во время пролета межпланетных станций «Voyager-1, -2». Нынешнее развитие электроники и прибористики позволило судить не только о редких скальных обломках величиной с двухэтажный дом, но и о куда более характерных для подобного образования «булыжниках» и «пылинках». Анализ этих данных ведет коллектив Института космических наук в Боулдере под руководством планетолога К.Порко (C.Porco).

Новыми для ученых стали сведения о наиболее удаленном от Сатурна ярком кольце А. Так называемые спиральные волны плотности в кольце были замече-

ны еще аппаратами «Voyager», но теперь стало ясно, что они представляют собой скопление бесчисленных небольших тел, состоящих из загрязненного льда и постоянно слабо соударяющихся друг с другом. С малого расстояния видно, что волны образуют некое подобие ряби на озерной поверхности, но составляющие их частицы «упакованы» весьма плотно. Эти уплотнения возникают под воздействием притяжения ближайшего спутника Сатурна, рядом с которым проходит данный участок кольца.

Бортовой ультрафиолетовый спектрограф зарегистрировал массовый выброс атомарного кислорода, произошедший вне основных колец Сатурна, примерно на орбите разреженного кольца Е. Сотрудники Южнокалифорнийского университета в Лос-Анджелесе во главе с Д.Шеманским (D.Shemansky), проанализировав эту информацию, предположили, что выброс — результат только что случившегося столкновения двух встроенных в это же кольцо, но еще не открытых спутников планеты, каждый диаметром примерно 5 км. Такое событие могло привести к проникновению в магнитосферу Сатурна новых заряженных частиц, которые вызвали «разброс» кислорода в стороны от находящихся там мелких обломков. Если это действительно так, то аппарат «Cassini» стал свидетелем образования нового участка кольца при столкновении малых космических тел.

Интересные данные показали приборы, регистрирующие радиоизлучение и плазму. Еще в пути к кольцам Сатурна аппарат прошел сквозь их плоскость в точке, находящейся между сравнительно плотным кольцом F и разрежен-

ным кольцом G. Именно эту точку специалисты по баллистике выбрали, считая ее ничем не заполненной, однако выяснилось, что аппарат выдержал там около 100 тыс. столкновений с микрочастицами, образующими нечто вроде дымного облака. Исследователи под руководством Д.Гарнетта (D.Gurnett; Университет штата Айова в Айова-Сити) сообщили, что эти частицы, сталкиваясь с аппаратом со скоростью 54 тыс. км/ч, породили плазменную сферу, которая превратила антенну соответствующего прибора в детектор частиц. Таким образом, можно говорить о наличии разреженного пылевого кольца почти повсеместно в околосатурновом пространстве.

Весьма существенные данные поступили во время пролета аппарата около гигантского спутника Сатурна — Титана. Это произошло через двое суток после выхода аппарата на орбиту вокруг планеты. Прежняя информация, полученная от обоих зондов «Voyager», позволила построить первичную картину Титана с постоянными метановыми дождями. Они смывают с поверхности осаждающиеся из туманной дымки органические вещества, оголяя яркие участки льда размером с целые континенты и формируя более темные моря из этана.

Изображения, полученные с помощью фотокамер и инфракрасных спектрометров «Cassini», говорят о существовании на Титане сравнительно светлых областей (природа которых неясна), крупного кратера и скопления ярких облаков над Южным полюсом. Сотрудники Лаборатории реактивного движения в Пасадене во главе с К.Бейнсом (K.Baines) отмечают, что бортовые приборы пока не за-

фиксируют отражения солнечных лучей, которое свидетельствовало бы о наличии на Титане моря или океана, на что до сих пор надеялись некоторые их коллеги.

Пребывание «Cassini» на окололунной орбите продолжится четыре года. За это время специалисты, несомненно, узнают много нового о планете, ее кольцах, магнитосфере и о ее достаточно крупных естественных спутниках, которых по крайней мере 31.

Science. 2004. V.305. №5681. P.165 (США).

## Астрофизика

### Самая далекая галактика

Космический телескоп «Спитцер», выведенный НАСА США на орбиту в августе 2003 г., выполняет наблюдения, совмещенные с программой ранее запущенного космического телескопа «Хаббл». Инфракрасные детекторы на борту «Спитцера» были заранее охлаждены до весьма низких температур, а их чувствительность позволяет обнаружить очень слабые источники излучений в теплом диапазоне. Многие специалисты не рассчитывали, что небольшой телескоп с зеркалом диаметром всего 85 см окажется достаточно сильным, чтобы увидеть слабо светящиеся галактики, уже существовавшие в первые 2 млрд лет жизни Вселенной. Однако эти скептики были посрамлены в феврале 2004 г., когда от «Спитцера» стали поступать достаточно четкие изображения карликовой галактики, возникшей всего через 0,6 млрд лет после Большого взрыва.

Наблюдения и анализ этой информации провела группа астрономов во главе с Ж.-П.Нейбом (J.-P.Kneib; Калифорнийский технологический институт, Пасадена, США). Для получения изображения они использовали естественное увеличительное стекло — массивное скопление галактик Абель 2218: когда лучи от изучаемого объекта проходили рядом с этим скоплением, его могучее тяготение сконцентрировало свет, при

этом изображение карликовой галактики увеличилось по меньшей мере в 25 раз, а благодаря этому возросла и информативность наблюдений «Хаббла».

Телескоп «Хаббл» способен фиксировать лишь ультрафиолетовое излучение «новорожденных» звезд, смещенное в пределы оптического диапазона. Чтобы судить о том, каковы были размеры галактики и каков ее возраст, необходимы наблюдения остальных ее звезд. Эта информация и стала доступной благодаря телескопу «Спитцер»: его приборы видят свет уже зрелых солнцеподобных звезд, сдвигающийся в инфракрасную область спектра. Астрономы, руководимые Э.Эгами (E.Egami; Университет штата Аризона в Темпе), обработали два инфракрасных снимка, сделанных с 40-минутной выдержкой и запечатлевших те же явления, которые зафиксировали приборы «Хаббла». Красное смещение излучений показало, что древнейшие из звезд этой карликовой галактики имеют возраст от 125 до 200 млн лет, они же составляют основную ее массу. Таким образом, момент рождения этой галактики близок ко времени, когда начали светить первые, только что сложившиеся протогалактики.

Суммарное количество излучения, зарегистрированного обоими телескопами, говорит, что размеры данной галактики составляют лишь 1:200 размера Млечного Пути. Следовательно, в ряду карликовых галактик это не столь уж малый объект, но среди иных — все же карлик. Эгами считает, что у нее «все еще впереди»: подобные объекты способны наращивать массу, привлекая к себе окружающее вещество.

Science. 2004. V.304. №5677. P.1580 (США).

## Астрофизика. Техника

### Ультрафиолетовая астрономия под угрозой

Гигантские скопления газов заполняют пространства Вселенной между галактиками, но эти газо-

вые облака, из которых некогда образовались звезды, невозможно изучать с помощью обычных наземных телескопов — они поддаются наблюдениям только со спутников в ультрафиолетовой части спектра с длиной волны от 10 до 400 нм, не проходящей сквозь атмосферу Земли.

Впервые ультрафиолетовая астрономия стала использоваться лишь в 1960-х годах, когда на орбиту вывели искусственные спутники с соответствующим оборудованием. С тех пор некоторые проблемы астрофизики удалось решить, но при этом возникло немало новых. Однако продолжение таких исследований ныне находится под угрозой срыва. Дело в том, что технические ресурсы двух ИСЗ, участвующих в изучении космического ультрафиолетового излучения, истощатся к 2008 г., а планы запуска новых висят в воздухе. Сейчас в этом направлении работают лишь американские спутник «FUSE» («Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer» — «Исследователь далекой ультрафиолетовой области спектра»), запущенный более пяти лет назад, и «GALEX» («Galaxy Evolution Explorer» — «Исследователь эволюции галактик»), находящийся на орбите с апреля 2003 г. Приборы первого из них регистрируют с высокой разрешающей способностью спектры излучения отдельных небесных объектов, а второй, чтобы представить общую картину эволюции галактик, осуществляет съемку в ультрафиолете всего неба. Участие в тех и других наблюдениях космического телескопа «Хаббл» под вопросом, как и судьба самого этого аппарата.

Существование ИСЗ «FUSE» завершится в ближайшие годы. А технический ресурс «GALEX» будет исчерпан уже в 2005 г., вопрос же обслуживания и ремонта телескопа «Хаббл» остается нерешенным. Проблема упирается не только в общую ограниченность ассигнований. По заключению У.Муца (W.Moos; Университет им.Джонса Гопкинса, Балтимор), руководителя научных работ с ИСЗ «FUSE»,

на сегодня нет достаточно продвинутой технологии в приборостроении и нет оборудования, которое заслуживало бы запуска нового ультрафиолетового спутника.

На международной конференции по астрофизическому приборостроению (Берлин, май 2004 г.) был представлен план создания новейших наземных и космических приборов для наблюдения рентгеновского, инфракрасного и гамма-излучений, но «ультрафиолетчики» не показали чего-либо стоящего. Единственную надежду подает план испанских астрономов во главе с А.Гомес де Кастро (A.Gomez de Castro). По их мнению, Европейскому космическому агентству (без участия НАСА США) следует продвигать находящийся пока на ранней стадии проект WSO/UV (World Space Observatory/Ultraviolet), основанный на российской технологии, которая уже существует. Этот проект предусматривает запуск спутника с зеркалом диаметром 1.7 м и целым набором наблюдательных инструментов с высокой разрешающей способностью в спектрографии и получении изображений небесных объектов. Если проект получит всестороннее одобрение, запуск может состояться в 2007 г.

Директор Института космического телескопа в Балтиморе С.Беквитт (S.Bechwith) сообщил на конференции, что сотрудники Университета штата Колорадо в Боулдере уже создали оригинальный прибор COS (Cosmic Origins Spectrograph), способный вести наблюдения и в ультрафиолетовом диапазоне излучения. Его надлежало установить на космическом телескопе «Хаббл», но после катастрофы шаттла «Columbia» полет к «Хабблу» был отменен или по крайней мере отложен. Тем временем главный конструктор этого инструмента Дж.Грин (J.Green) из того же университета уже приступил к разработке оригинального ультрафиолетового прибора с зеркалом диаметром от 4 до 6 м. Он будет готов к запуску только в 2015—2020 гг., но это уже за пределами интереса большинства сегодняшних астрономов.

Настойчивость астрофизиков в решении данной проблемы связана не только с необходимостью изучения межгалактического газа. В том же ультрафиолетовом диапазоне излучают наиболее раскаленные объекты Вселенной, температура которых достигает 10 и даже 100 тыс. градусов. Среди них — атмосферы молодых звезд, протопланетные диски и газ в окрестности черных дыр, расположенных в активных галактических ядрах. Ультрафиолетовое излучение удаленных квазаров также способно поведать много интересного о фундаментальных константах физики, которые, возможно, не были постоянными на раннем этапе существования миров. Science. 2004. V.304. №5679. P.1899 (США).

### Астрономия

#### Все больше странных «горячих» планет

С тех пор как в 1995 г. швейцарские астрономы обнаружили первую планету вне Солнечной системы, их коллеги из разных стран открыли еще более 130 таких небесных тел. Непосредственно наблюдать столь удаленные и темные объекты пока еще не удается, поэтому все открытия сделаны косвенным образом: излучение от звезды в зависимости от того, приближается она к нам или удаляется от нас, смещается согласно эффекту Доплера соответственно в синюю или красную часть спектра. Хотя этот эффект очень слабый, он все же уловим с Земли. Это помогает обнаруживать воздействие на звезду ее неразличимого для нас спутника. Первоначально это были лишь очень крупные спутники, находящиеся на не слишком значительных расстояниях от своей звезды, но все они обращались вокруг нее более чем за двое с половиной земных суток, и в этом усматривалась своеобразная закономерность.

Математические модели говорили, что каждый из подобных сильно разогретых своим солнцем «юпитеров» якобы когда-то

сформировался далеко от своей звезды, а уж потом мигрировал в ее окрестности. Но вот в 2003 г. астрономы обнаружили гигантскую планету, совершающую один оборот вокруг своей звезды всего за 29 ч и, следовательно, находящуюся очень близко к ней. Сперва большинство специалистов этому даже не поверили. Теперь скептицизм сошел на нет: сотрудники Женевской обсерватории в 2004 г. открыли два новых похожих гиганта, причем еще более массивных и тоже оббегающих собственное «солнце» менее чем за двое суток по орбите, пролегающей всего в нескольких миллионах километров от него. А это лишь малая доля того расстояния, которое отделяет от Солнца ближайший к нему Меркурий.

Открытие далось нелегко: пришлось «просеять» огромный массив наблюдательных данных, которые были собраны польско-американской группой специалистов, работавших по международному проекту OGLE (Optical Gravitational Lense Experiment — Оптический гравитационно-линзовый эксперимент). Они обследовали — ни много ни мало! — 155 тыс. слабо светящихся звезд с целью обнаружить у них колебания яркости, связанные с прохождением их планетных спутников. В результате появился список из 137 звезд, у которых, возможно, есть собственные планеты.

Подхватила инициативу группа западноевропейских астрономов во главе с Ф.Буши (F.Bouchy; Марсельская астрофизическая обсерватория, Франция). Работая в Чили на телескопе VLT Европейской южной обсерватории, они проследили за 41 наиболее перспективной звездой из польско-американского списка и у двух из них обнаружили колебания яркости, несомненно вызванные обращающимися около них темными объектами.

Астрономы связывают свои дальнейшие успехи в этой области с только что вступившими в строй телескопами системы «Super-WASP» на о.Ла-Пальма (Канарские о-ва, Испания) и французским

спутником Земли «Corot», который выйдет на орбиту в 2006 г. Science. 2004. V.304. №5674. P.1092 (США).

## Астрономия

### Звезда размером с планету

Одним из наиболее многообещающих способов обнаружения внесолнечных планет считается поиск звездных «затмений». Если планета обращается вокруг звезды по орбите, плоскость которой близка к лучу зрения, она будет периодически закрывать часть диска светила, вызывая падение его яркости. Разумеется, одного только факта затмения недостаточно, чтобы признать открытие новой планетной системы: затмения могут вызываться и коричневыми карликами, и тусклыми звездами. До сих пор считалось, что отличить планету от звезды в затменной двойной системе можно по форме кривой блеска (т.е. по зависимости яркости центральной звезды от фазы затмения): в случае вторичного компонента звездной природы она должна отражать его больший, чем у планеты, размер и вызываемое им приливное искажение формы первичной звезды.

Чаще всего предполагаемые «планеты» в затменных системах на поверку действительно оказываются красными М-карликами, затмевающими более яркую звезду. Обнаружение таких систем, конечно, нельзя считать неудачей — затмения предоставляют ученым редкую возможность непосредственного определения массы и радиуса М-карлика, что само по себе тоже очень интересно. С моделированием маломассивных холодных звезд связано множество неопределенностей, поэтому сравнение теоретических предсказаний с наблюдениями имеет в данном случае особую важность.

В 2003 и 2004 гг. Ф.Понт (F.Pont; Женевская обсерватория, Швейцария) с коллегами из Чили, Франции и Португалии провели спектроскопические исследова-

ния 60 затменных систем с «планетными» кривыми блеска при помощи 8.2-метрового телескопа VLT-Кьюен (Европейская южная обсерватория). Помимо открытия пяти новых планет, эта работа привела к обнаружению самой маленькой из известных на сегодняшний день звезд главной последовательности<sup>1</sup>.

Сначала спутник солнцеподобной звезды OGLE-TR-122 казался несомненной планетой. Однако от этого предположения пришлось отказаться, когда авторы работы, объединив данные о колебаниях блеска центральной звезды с данными о ее движении по лучу зрения под воздействием гравитации менее массивного компонента, определили точные параметры невидимого спутника. Выяснилось, что вторичный компонент обращается вокруг OGLE-TR-122 по довольно вытянутой орбите с эксцентриситетом 0.2 и периодом 7.27 сут. При радиусе  $0.114 R_{\odot}$  он обладает массой около  $0.085 M_{\odot}$ , т.е. всего на несколько процентов, но все-таки больше предельно малой массы звезд, необходимой для поддержания термоядерных реакций. Радиус нового М-карлика лишь незначительно превосходит радиус Юпитера (масса Юпитера равна  $0.001 M_{\odot}$ , а его радиус  $0.1 R_{\odot}$ ). Ранее теоретические модели действительно предсказывали, что по размерам наименее массивные звезды приближаются к наиболее массивным планетам, но увидеть наблюдательное подтверждение этого факта ученым удалось впервые.

По мнению авторов, открытие самой маленькой звезды имеет важное значение с точки зрения интерпретации планетных затмений. Открытие в такой небольшой выборке М-карлика, «замаскированного» под планету, говорит о большой распространенности подобных «микрозвезд». Статистический анализ данных обзора показал, что среди систем с периодами свыше 2 сут вторичные компоненты звездной природы с массами  $0.08-0.12 M_{\odot}$  по мень-

шей мере столь же распространены, сколь и планеты-гиганты. При этом, вопреки теоретическим ожиданиям, в системе OGLE-TR-122 при наблюдениях в видимом диапазоне кривая блеска по форме совершенно не отличается от кривых блеска известных затменных систем с планетами. В данном конкретном случае отличия, вероятно, удалось бы обнаружить с помощью наблюдений системы в инфракрасных лучах, однако для чуть менее массивной вторичной звезды и это будет невозможно. Иными словами, для уверенного определения природы затмевающего объекта одних только фотометрических данных недостаточно: необходимы спектральные исследования.

© Вибс Д.З.,  
кандидат физико-математических наук  
Москва

## Планетология

### Солнечные затмения на Марсе

Еще в 1970-х годах космические аппараты «Viking» наблюдали за тенью меньшего из двух естественных спутников Марса — Фобоса, которая в то время пересекала видимый диск Солнца. В 1997 г. приборы аппарата «Mars Pathfinder» фиксировали момент ночного появления Фобоса из тени, отбрасываемой самой Красной планетой. Однако до сих пор еще ни разу с космического аппарата на «чужой» планете не осуществлялись прямые наблюдения какого-либо естественного спутника в процессе его прохождения перед Солнцем. А ведь результаты подобных наблюдений могут во многом способствовать уточнению эволюции и нынешнего состояния орбит марсианских «лун».

Положение теперь существенно выправится благодаря операциям, проведенным по команде с Земли в течение полутора месяцев американскими марсоходами «Spirit» и «Opportunity» в марте 2004 г. 4 марта Деймос вызвал «микрозатмение» Солнца, быстро

<sup>1</sup> <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0501611>

проходя по его диску. За ним 7 марта последовал и Фобос. Приборы обоих марсоходов еще до этого были направлены в сторону светила, и велись беспрецедентные панорамные съемки тамошних явлений. Фиксировалась также реакция марсианской разреженной атмосферы на излучение Солнца.

Трудность эксперимента состояла в его крайней кратковременности: дело в том, что Деймос проходит по диску светила всего за 50–60 с, а Фобос — вообще за 20–30 с! Хотя при взгляде с Марса Солнце выглядит примерно на треть меньшим, чем с Земли (здесь сказывается удаленность Красной планеты от светила), при наблюдении с Марса его «луны» столь невелики, что даже Фобос перекрывает всего около половины солнечного диска.

Беспрецедентные «марсианские» свидетельства солнечных затмений марсианскими «лунами» изучаются в лабораториях НАСА США.

*Astronomy and Geophysics. 2004. V.45. №3. P.3, 28 (Великобритания); marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/press/opportunity/20040308a.html*

## Планетология

### И опять: «...есть ли жизнь на Марсе?»

В марте 2004 г. европейский межпланетный аппарат «Mars Express» передал на Землю информацию о составе атмосферы Красной планеты, собранную планетарным фурье-спектрометром. Лабораторный анализ данных, проведенный под руководством В.Формизано (V. Formisano; Институт физики межпланетного пространства, Рим), показал, что в воздушной оболочке Марса содержится некоторое количество метана. Важность этого открытия в том, что  $CH_4$ , как известно, вырабатывается (по крайней мере в земных условиях) при разложении органических веществ, что могло бы свидетельствовать о наличии на Марсе жизни в том или ином ее проявлении. Однако не исключено, что этот газ просто

выделяется из недр планеты, где он скапливался с ранних времен ее существования. Бортовым прибором было зафиксировано излучение в диапазоне около 3.3 мкм, характерное именно для метана. Но его количество очень невелико — примерно 10.5 частей на 1 млрд. И опять возникает вопрос, откуда он берется. Если бы новые порции этого газа в марсианской атмосфере постоянно не пополнялись, он давно бы полностью разрушился под воздействием солнечного излучения, на что ушло бы всего несколько сотен лет.

В принципе, метан может просачиваться на поверхность планеты при вулканических извержениях или даже из ныне уже дремлющих вулканов, наконец, при излиянии горячих источников. Однако ни активные вулканы, ни гейзеры до сих пор на Красной планете (в отличие от спутника Юпитера — Ио) не обнаружены. Лишь давно остывшие потоки лавы на поверхности говорят о том, что некогда такие процессы там происходили.

Очень привлекательна гипотеза астробиологов: в недрах Марса теплится жизнь, пусть даже в микроскопическом обличье! Там некие бактерии питаются глубинным веществом, испуская метан в качестве побочного продукта своей жизнедеятельности.

Ни Формизано, ни его коллеги не утверждают со всей решимостью, что наконец удалось ответить положительно на вопрос, есть ли жизнь на Марсе. Скептики, например американский космохимик-спектроскопист М.Мумма (M. Mumma; Центр космических полетов им.Годдарда НАСА США) призывает к осторожности: хотелось бы взглянуть, говорит ученый, на ряд эмиссионных спектров, зарегистрированных сразу со всеми их специфическими характеристиками; зафиксированные излучения имеют не ту относительную мощность, которую можно было бы от них ожидать, к тому же, считает он, все записи находятся на пределе чувствительности приборов, за которым начинается информационный шум.

Специалисты с нетерпением ждут сообщений от группы спектроскопистов, возглавляемой В.Краснопольским (Американский католический университет, Вашингтон). Они, не покидая Землю, тоже изучали состав марсианской атмосферы и, кажется, обнаружили поглощение волн в 18 различных диапазонах, принадлежащих метану; есть признаки, что он обнаруживает себя в количестве 11 частей на миллиард. Если это подтвердится, останется «всего лишь» понять, кто или что является источником этого вещества. *Science. 2004. V.303. №5660. P.1953 (США).*

## Физика

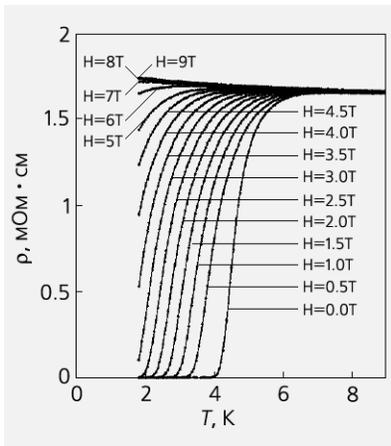
### Критическая температура алмазных пленок подросла

Сообщение российских физиков и их американских коллег о сверхпроводимости легированного бором алмаза<sup>1</sup> некоторые ученые поначалу восприняли скептически. Однако вскоре и в других лабораториях мира добились аналогичного результата, а кое-где даже превзошли его.

Японские специалисты вырастили ориентированные (111) пленки алмаз/бор на кремниевых (001) подложках, используя методику MPCVD (одну из модификаций метода химического осаждения из паровой фазы)<sup>2</sup>. За 9 ч получались пленки толщиной 3.5 мкм, состоящие из зерен диаметром около 1 мкм. В отсутствие магнитного поля ( $H = 0$ ) температура начала резистивного перехода составляла 7.4 К, а в нуль электросопротивление обращалось при  $T_c = 4.2$  К (у российских и американских физиков эти величины равнялись соответственно  $\approx 4$  К и 2.3 К). Появление и дальнейшее увеличение магнитного поля приводило, как обычно, к подавлению сверхпроводимости. Все эти результаты полно-

<sup>1</sup> Сверхпроводящий алмаз // Природа. 2005. №3. С.81.

<sup>2</sup> О получении алмазных пленок см.: Увидим ли схемы в алмазах? // Природа. 2003. №11. С.82.



Резистивные переходы пленок алмаз/бор в различных магнитных полях.

стью воспроизводимы на разных образцах.

Измерения холловской подвижности позволили определить концентрацию носителей заряда  $n = 9.4 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ , что соответствует концентрации бора 0.53%. Первые признаки сверхпроводимости появлялись при содержании бора 0.18% — это даже меньше, чем давали теоретические оценки.

Applied Physics Letters. 2004. V.85. P.2851; [http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/4\\_21/index.htm](http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/4_21/index.htm)

## Биология

### Конвергентная эволюция у дарвиновых вьюрков

Хотя Чарлз Дарвин не был орнитологом, однако, посетив в середине XIX в. о-ва Галапагос, обратил внимание на небольших птичек, невзрачно окрашенных и обладающих массивным клювом. На архипелаге обитает всего около двух десятков видов таких птиц, получивших впоследствии название дарвиновых вьюрков и выделенных в особое семейство Geospizidae, родственное нашим зябликам и щеглам. Дарвин использовал вьюрков в качестве одной из иллюстраций к своей теории происхождения видов путем дивергенции: от предковой формы появляются дочерние путем специализации. Этим же птицам

суждено было стать моделью для исследования гибридогенного видообразования, которое представляет собой совершенно противоположный процесс.

В течение 30 лет (1973—2003) дарвиновых вьюрков изучал с коллегами английский орнитолог П.Грант (P.Grant; Принстонский университет). Под постоянным наблюдением находились популяции двух видов: кактусового (*Geospiza scandens*) — чуть большего размера и более длинноклювого — и среднего земляного (*G.fortis*) вьюрков, гнездящихся на одном из островов архипелага. Вот что удалось обнаружить.

Эти виды репродуктивно не изолированы: из-за сходства друг с другом они более или менее регулярно скрещиваются между собой. За время наблюдений доля гибридов первого поколения увеличилась вдвое — с 10% до 24%. Последствия такой гибридизации оказались более заметны на кактусовом вьюрке: за счет генов среднего земляного вьюрка увеличилось генетическое разнообразие популяции, относительно короче стал клюв и уменьшились размеры тела, т.е. по внешним признакам кактусовые вьюрки приблизились к земляным. Такой процесс ученые называют интрогрессивной гибридизацией — в этом случае один вид как бы поглощает другой. Почему это оказалось возможным у дарвиновых вьюрков? Грант и его коллеги выдвинули следующее предположение.

Если два вида скрещиваются между собой, то судьба потомков таких популяций зависит от внешних условий. К примеру, менее приспособленные гибриды будут чаще погибать, а степень гибридизации поддерживаться на постоянном низком уровне; виды при этом эволюционируют так, как и предполагал Дарвин, т.е. по пути специализации, или дивергентной эволюции. Если же ситуация вдруг начнет меняться и гибриды окажутся более к ней приспособленными, то в этом случае естественный отбор будет благоприятствовать как раз гибридным формам, и произойдет «слияние» видов,

т.е., по сути дела, конвергентная эволюция. Такой новообразованный вид может быть больше похож на один из родительских: благодаря отбору признаки материнских видов комбинируются определенным образом, наилучшим способом отвечая изменившимся условиям.

Таким образом, межвидовая гибридизация создает как бы дополнительный жизненный потенциал, до поры до времени спящий, но легко способный пробудиться и дать новую жизнь затухающим популяциям, связав два вида узлами Гименея.

Evolution. 2004. V.58. №7. P.1588—1599 (США).

## Генетика. Антропология

### О чем рассказали... крысы

Антропологи давно спорят о прародине полинезийцев. Известно, что примерно 3500 лет назад их предки появились на островах вокруг о.Новая Гвинея и впоследствии распространились по всей южной акватории Тихого океана. Но откуда они пришли, пока остается неизвестным. Неясно и происхождение полинезийской культуры лапита: одни специалисты полагают, что она сложилась на вышеупомянутых островах, другие ее прародиной считают о.Тайвань.

Современная генетика в состоянии разрешать споры о происхождении народов, но в данном случае это оказалось невозможным: ученые не могут взять необходимые для анализа образцы ДНК из останков давно умерших людей, поскольку для этого пришлось бы нарушить племенные табу. Приходится искать обходные пути. Специалисты, возглавляемые Л.Матису-Смит (L.Matissoo-Smith; Оклендский университет, Новая Зеландия), использовали для своих исследований... крыс. Эти грызуны играли существенную роль в рационе питания полинезийцев (более крупные животные на островах не водились), были персонажами фольклора, их

изображали на старинных ритуальных масках.

Новозеландские ученые извлекли фрагменты ДНК из остатков древних крыс, обнаруженных вблизи стоянок человека лапитской культуры, а также в различных музеях городов Юго-Восточной Азии. Анализ показал: древние полинезийские крысы генетически гораздо ближе к крысам, которые ныне населяют острова к западу от Новой Гвинеи, чем к тем, что живут в Восточной Азии.

Это исследование наносит серьезный удар по гипотезе тайваньского происхождения полинезийцев, но отказаться от нее полностью пока нельзя, так как существует некоторое сходство языков Южного Китая и полинезийских народов. Так что дискуссия продолжается.

Proceedings of the National Academy of Sciences. June. 2004; Science. 2004. V.304. №5678. P.1742 (США).

## Этология

### Уникальная социальная жизнь носухи

Носухи (*Nasua*) — довольно крупные (весом 3–6 кг) представители семейства енотовых (Procyonidae). Известно два-три вида этих зверей, населяющих Центральную и Южную Америку. Носухи ведут наземный образ жизни, обслеждая лесную подстилку подвижным чувствительным носом в поисках пищи, к которой непривередливы. Большинство хищников ведут одиночный образ жизни, но носуха в этом отношении — любопытное исключение. Хотя самцы в общем придерживаются этого правила, самки с детенышами держатся сплоченными и постоянными по составу группами из 15–20 особей, занимающими определенный участок леса в несколько квадратных километров. После достижения определенного возраста молодых самцов из группы изгоняют, а самки остаются. Путешествуя по лесу в поисках пропитания, носухи используют свой длинный полосатый хвост как средство сигнализации, держа



Носуха.

его вертикально, что позволяет им не терять друг друга из вида.

Дополнительные любопытные особенности жизни этих зверей выяснили зоологи из Университета Флориды<sup>1</sup>. В течение трех лет они изучали один из видов носух (*N.narica*) в Гватемале. Вне периода размножения, когда добиться благосклонности самки маловероятно, самцы много времени проводят в одиночестве, лишь периодически навещаясь к самкам и долго здесь не задерживаясь. Но с наступлением репродуктивного сезона поведение самцов меняется: около каждой группы самок постоянно держится три-четыре самца, которые токуют, взбираясь на деревья и оглашая окрестности протяжными криками в ожидании ответа. Самки между тем продолжают вести обычную жизнь, путешествуя по участку, поэтому самцам приходится постоянно менять деревья. На одном дереве самцы не токуют, прогоняя конкурентов.

Ученые назвали такую социальную организацию «мобильные токи», противопоставив их обычным токам (как, например, у глухарей или тетеревов), когда самцы из года в год собираются в одном месте.

© Опаев А.С.

Москва

<sup>1</sup> Booth-Binczic S. et al. // J. Zool. 2004. V.262. №2. P.179–185.

## Геология

### Мировые затраты на геологическую разведку

В течение 20 лет поиск и добыча минеральных полезных ископаемых в Австралии неуклонно сокращались, и лишь в 2002/2003 финансовом году расходы на геологическую разведку возросли на 14% по сравнению с предыдущим годом — ассигнования на эти цели достигли 732.5 млн долл. США. Размах в исследованиях охватил все шесть штатов и Северную территорию, но на первом месте оказались штаты Виктория (рост на 36%) и Квинсленд (23%). В абсолютных величинах пока еще ведет штат Западная Австралия, чья доля в общей геологической разведке страны достигает 57%. Главное богатство недр этого штата составляет золото. В масштабе всего государства на поиски золота привлечено 51.7% общих ассигнований (378.4 млн долл.), направляемых на разведку полезных ископаемых; на втором месте — каменный уголь (10.6% — 77.9 млн долл.), затем — никель с кобальтом (9%), железная руда (6.1%) и т.д. Особенно крутой рост расходов отмечается на поиски железной руды (77% по сравнению с прошлым годом), а затраты на разведку залежей урана и минеральных песков, наоборот, упали, соответственно на 22 и 18%.

Все это происходит на фоне возрастания мировых затрат на геологическую разведку, которые впервые с 1997 г. составили рекордные 5.2 млрд долл. Австралия и ныне сохраняет второе место в мире (после Канады) по этому показателю, хотя ее доля снизилась с 17.6 до 15.5%. Возрастание же роли Канады связано главным образом с обнаружением на ее территории новых кимберлитовых провинций, многообещающих по добыче алмазов.

Обращает на себя внимание нынешний «взлет» поисковой геологии в Африке (главным образом в Южной). Там в 2003 г. ассигнования на разведку возросли на 120%,

что поставило ЮАР на четвертое место в мире (вслед за Канадой, Австралией и США). Наибольший прирост отмечается в поиске алмазов, золота и платины.

Эксперты констатируют нынешний рост цен на полезные ископаемые, в первую очередь — на золото, никель и другие металлы; предполагается их дальнейший рост по крайней мере в течение еще полутора лет.

AusGeoNews. 2003. №3. P.16 (Австралия).

## Океанология

### Новый взгляд на океанический конвейер

Одно из крупнейших на Земле динамических явлений — так называемый глобальный конвейер, который представляет собой перемещение глубинных вод в северной части Атлантического океана, оказывающее влияние на климат обоих полушарий. Особенно значителен этот процесс в межледниковые периоды, а во время очередных оледенений его размах существенно сокращается.

Такая широко принятая среди океанологов и метеорологов точка зрения на заметные колебания в циркуляции вод Мирового океана основана главным образом на изучении изотопного состава углерода в тканях глубоководных фораминифер, раковины которых после отмирания образуют меловые отложения: специалисты сопоставляли содержание изотопов углерода в раковинах фораминифер, живших в ледниковый период, с тем, что было определено у населявших океан в межледниковье.

Однако ныне группа американских океанологов во главе с Реймо (Raumo) предлагает внести существенные изменения в принятую ранее теорию. Они наиболее детально за все время исследований изучили состав раковин фораминифер, образцы которых взяты при бурении дна в семи пунктах Северной Атлантики — у п-ова Лабрадор, южных берегов Исландии и в Датском проливе, соединяю-

щем Ледовитый океан с Атлантикой. Период времени, к которому относятся образцы, охватывает 27 гляциальных (ледниковых) циклов, т.е. около 2 млн лет.

Выяснилось, что уровень продуктивности североатлантических глубинных вод, которые считаются главным двигателем всего глобального конвейера, серьезных изменений в масштабах оледенений за данный интервал времени не претерпевал. И это несмотря на резкие различия в климатических условиях того времени и в количествах льда на суше и в море.

Авторы исследования предполагают, что наблюдаемая изменчивость продуктивности североатлантических глубинных вод за последнее время нетипична, равно как нетипичен в течение нынешнего аномально теплого межледниковья изотопный состав углерода в регионе, где образуется большая часть североатлантических глубинных вод. Рекомендуются при использовании данных, описывающих изотопный состав глубинных придонных организмов, рассматривать указанные выше факторы, влиявшие на изменчивость циркуляции океанических вод.

Paleoceanography. 2004. V.19. P.1029; Science. 2004. V.304. №5672. P.797 (США).

## Вулканология

### Пробуждение вулкана Аву

Согласно историческим данным, вулкан Аву, который расположен у северной оконечности о.Сулавеси (Индонезия), на примыкающем к нему о.Сангихе, извергался в 1711, 1812, 1856, 1892 и 1966 гг. Последние 37 лет он считался погасшим. За это время на его вершине (высота вулкана 1320 м над ур.м.) образовалось километровое в длину кратерное озеро с зеленоватой водой; когда-то его объем достигал 35 млн м<sup>3</sup> воды, а глубина временами возрастала до 170 м. Затем озеро начало мелеть, и к 2003 г. там оставалось всего 50 тыс. м<sup>3</sup>. Специали-

сты объяснили это появлением на дне кратера и в его стенах трещин. Обмеление было воспринято с облегчением, так как существовала опасность, что в случае серьезных сейсмических событий лахары (грязевые потоки) обрушатся на многочисленные поселения, разбросанные у подножия горы. Этого теперь уже не могло случиться, но 12 августа 1966 г. вулкан изверг потоки жидкой лавы и облака раскаленных газов. Погибло 99 человек, число раненых превысило 1 тыс., примерно 11 тысячам пришлось бежать. Затем Аву успокоился.

Признаки нового пробуждения были замечены 15 мая 2004 г., когда произошло не особенно сильное землетрясение тектонического типа, за которым последовали два явно вулканических. На следующие сутки их насчитывалось уже 12. Сотрудники вулканологической службы Индонезии установили, что это признаки медленного подъема крупных масс расплавленного вещества. Над кромкой кратера на высоту 75 м поднялся столб газов, а земная поверхность на склонах начала сотрясаться. Появились свидетельства того, что эпицентр землетрясения все более смещается из недр к поверхности. 18 мая 2004 г. по рекомендации ученых местные власти объявили тревогу. 2 июня сквозь пар, дым и пыль в середине кратера стал различим новорожденный крупный купол, буквально на глазах складывающийся из рыхлых масс шлака, среди которых отмечались и крупные глыбы светлой пемзы.

Если в мае сейсмичность ограничивалась одним толчком в день, то 4—5 июня их было зарегистрировано 85. Утром 6 июня раздался взрыв, сопровождавшийся дождем из пепла. Его видимый столб достигал 750-метровой высоты. К этому времени объявленный уровень тревоги возрос до IV (наивысшей) степени, и 20 тыс. окрестных жителей были эвакуированы. Всего за 8 ч 7 июня зарегистрировано 165 глубокофокусных вулканических землетрясений и 18 — мелкозалегающих. В райо-

не городка Тахупа слой выпавшего пепла приблизился к 1.5 мм, так что местный аэропорт пришлось закрыть.

Утром 10 июня непрерывные толчки и выбросы продолжались 34 мин, после чего активность Аву начала постепенно спадать. Облако черного пепла поднялось в это время до высоты 3 км над вершиной горы. Степень угрозы понизилась, и обитатели деревень к западу от вулкана получили 13 июня возможность вернуться домой. На крышах зданий толщина пеплового слоя равнялась 1.5–2 мм.

Индонезийские специалисты установили, что посередине кратера вырос купол высотой 40 м и площадью основания 250×300 м<sup>2</sup>. В наблюдениях за вулканом и в эвакуации жителей принимали участие сотрудники Управления координации гуманитарных мероприятий ООН (Нью-Йорк). С их помощью около 20 тыс. эвакуированных были размещены в административных зданиях, школах и молитвенных домах других деревень и поселков, стоящих вдали от вулкана.

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2004. V.29. №5. P.1 (США).

### Палеонтология. Орнитология

#### Колибри-европеец нашелся в комод!

Орнитологи насчитывают более 300 видов семейства колибри (Trochilidae). Эти крошечные (длина 5.7–21.6 см, масса 1.6–20 г) птицы питаются цветочным нектаром на лету, зависая над растением. Все они — жители Западного полушария. Известно, что прародина этих пернатых — Центральная и Южная Америка; впоследствии они расселились и по северной части континента, вплоть до границы между США и Канадой. В Старом же свете колибри не обитают и, по убеждению специалистов, никогда не обитали.

Этот общепризнанный взгляд опроверг немецкий палеонтолог и орнитолог Г.Майр (G.Maур; Ис-

следовательский институт Зенкенберга, Франкфурт-на-Майне). Он изучил и описал найденный ранее в глиняном карьере на юге Германии скелет древней птицы, которая несомненно относится к Trochilidae. Костные остатки ученый обнаружил... в ящике «для неопознанных предметов» Музея естественной истории в Штутгарте! Скелет, хоть и распавшийся на две части, неплохо сохранился — отсутствует лишь кончик клюва. Анализ показал, что возраст находки 30–34 млн лет.

Вообще остатки древних колибри из-за хрупкости скелета доходят до наших дней очень редко, долгое время их не находили даже на родине — в Западном полушарии. Впервые остатки птиц, похожих на колибри, обнаружили совсем недавно, причем, как ни странно, в Европе, на Кавказе. Однако части скелетов этих двух ископаемых пернатых возрастом около 30 млн лет (*Argornis caucasicus* и *Jungornis tessellatus*) сохранились столь плохо, что утверждать их принадлежность к колибри никто не решился. Строение тела, возможно, позволяло этим птицам порхать на одном месте, но весьма сомнительно, чтобы клюв у них был такой формы, которая позволяет всасывать нектар. Возможно, это были отдаленные предки Trochilidae.

Иное дело находка Майра. Строение данной птицы (ее длина 4–5 см от головы до хвоста) было отлично приспособлено и к зависанию над цветком, и к всасыванию из него нектара в этом положении. Локтевая и плечевая кости сильно укорочены, что позволяло крылу вращаться; клюв вытянут. Есть множество и других анатомических особенностей, по которым находку следует отнести именно к Trochilidae. Новичку дали имя *Eurotrochilus inexpectatus* (европейский колибри неожиданный).

Майр полагает, что родина колибри, как это и считалось ранее, — Южная Америка, но в дальнейшем они проникли и в Старый Свет, откуда в дальнейшем были вытеснены певчими птицами.

Science. 2004. V.304. №5672. P.810 (США).

### Археология

#### Увидеть мумию насквозь

В IX в. до н.э. жрец по имени Неспереннуб служил в одном из храмов священного египетского города Фивы. После смерти его тело, как полагалось соответственно его общественному положению, было мумифицировано и захоронено в гробнице. В 1899 г. археологи при раскопках потревожили усопшего, и тело было доставлено в лондонский Британский музей, где хранится поныне. Для всестороннего его изучения египтологам необходимо заглянуть внутрь многочисленных «оберток», в которые укутана мумия, сохранявшаяся более 3 тыс. лет.

Раньше для этого мумию просто «раздевали», а тело вскрывали хирургически. Но при этом безвозвратно терялись первоначальные уникальные характеристики организма. Сегодня же применяют компьютерную томографию и трехмерное лазерное сканирование.

Кураторы египетского отдела Британского музея, работая совместно со специалистами из компании «Silicon Graphics», получили более полутора тысяч последовательных изображений «слоев» тела покойника — от кожи до скелета — и его посмертных одежд. Благодаря этому методу любой ученый, будь он археолог, антрополог, микробиолог, специалист по древним технологиям ткацкого производства и т.п., может получить подробное представление о предмете своего исследования, даже не прикасаясь к нему.

Визуальное «вскрытие» сразу же позволило обнаружить несколько любопытных обстоятельств. Например, на внутренней стороне черепа стало заметно крошечное отверстие. Анатомы полагают, что оно возникло из-за мозговой опухоли или туберкулеза, которыми мог страдать этот древний египтянин.

Так фиванский жрец получил возможность «рассказать» о себе и своем времени через тысячелетия после смерти.

Science. 2004. V.305. №5681. P.174 (США).

# Событие в мире наук о Земле и Мировом океане

Б.И.Силкин

Москва

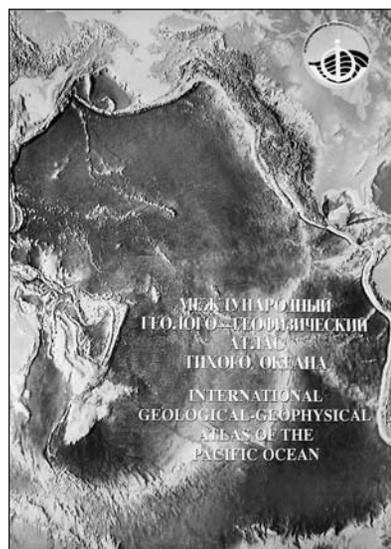
Можно смело назвать это событие важным: в свет вышел давно и с нетерпением ожидавшийся «Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана». Каждый из его авторов, составителей и редакторов теперь вправе сказать словами пушкинского летописца Нестора: «Закончен труд, завещанный от Бога мне, грешному...» Сначала — немного истории.

«Биография» этого издания фактически началась еще в 1899 г., когда в Берлине VII Международный географический конгресс обратил внимание на совершенно неудовлетворительное состояние наших знаний о строении дна Мирового океана. Была создана компетентная комиссия для изучения этого вопроса под главенством большого энтузиаста в деле изучения морей — принца Монакского Альберта I. Среди лиц, вошедших в эту комиссию, были и такие знаменитые исследователи, как адмирал С.О.Макаров и Ф.Нансен. Было решено составить на международной основе с использованием географической номенклатуры и всех доступных данных первую в истории Генеральную батиметрическую карту океана (ГБКО); финансирование работ приняло на себя правительство Монако.

© Силкин Б.И., 2005

Прекрасным — и тогда еще редким — примером научного сотрудничества стало постановление о том, чтобы термины, обозначающие формы подводного рельефа, были унифицированы для трех наиболее распространенных европейских языков, и этот принцип соблюдается во всех дальнейших публикациях ГБКО. Оперативность же первого издания (на составление и печать которого ушло всего лишь семь месяцев!) можно поставить в пример нынешним продолжателям этого дела. В январе 1904 г. готовые карты поступили в распоряжение Французской академии наук, а затем и во все другие заинтересованные организации. Основой карт служили данные измерений глубин, выполненных главным образом под эгидой британского Адмиралтейства. Однако немалый вклад внесли и суда, прокладывавшие в то время межконтинентальную сеть телеграфных кабелей по морскому дну. Эту публикацию смело можно назвать исторической.

Совершенствование техники исследований и рост потребности в информации вызвал необходимость нового издания ГБКО, и в 1912 г. оно начало готовиться. Первые листы карт появились уже тогда, но дальнейшие работы прервала Первая мировая война. Поэтому к следу-



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ АТЛАС ТИХОГО ОКЕАНА. Под ред. Г.Б.Удинцева.

М.; СПб.: Картография, 2003. 189 с.

ющему (третьему) изданию удалось приступить лишь в 1930 г., да и оно растянулось до 1969 г., что вызывалось многими экономическими и политическими причинами. Созданная к тому времени Международная гидрографическая организация поставила задачу охватить изучением ранее едва доступные глубины за пределами континентальных шельфов. О масштабах этого дела можно судить хотя бы потому, что поступающие со всех сторон данные размещались более чем на одной тысяче планшетов масштаба 1:1 млн в меркаторской проекции; далее уже с них изобаты переносились на окончательные листы масштаба 1:10 тыс.

Спустя 38 лет плоды этой работы в виде 21 листа карт смогли увидеть свет. Но еще до ее завершения в 1952 г. VI Международная гидрографическая конференция отметила необходимость четвертого издания: количество измерений глубин в Мировом океане «перехлестнуло» старые понятия и расширило возможности, позволив по-новому взглянуть на морское дно. За дело взялись 18 гидрографических служб стран-членов Международной гидрографической организации. Особый энтузиазм вызвал начавшийся в 1957 г. Международный геофизический год (МГГ) — широчайшее всемирное научное мероприятие, в котором впервые приняла активное участие и наша страна. По программе МГГ осуществлялось всестороннее изучение всех «сфер» нашей планеты, включая атмосферу, магнитосферу, земную кору и, разумеется, Мировой океан. Четвертое издание ГБКО (1958—1970) нашло свое достойное место среди публикаций, знакомящих специалистов и более широкую общественность со строением океанического ложа.

Вернемся, однако, к самому Атласу. Даже само начало огромного (60×50 см) тома не может не вызвать интереса у любого человека, так или иначе прича-

стного к истории открытия и исследования нашей планеты, которую было бы справедливо назвать Океаном, ведь ее поверхность на 71% покрыта водой. Тихий океан — крупнейший водоем, которому и посвящен данный Атлас. Естественно, что издание открывается изображениями судов, начавших подлинно научное исследование Мирового океана в минувшие века и продолживших эти работы уже в наше время.

Здесь мы видим модель барка «Endeavour», на котором капитан Дж.Кук еще в 1768—1771 гг. совершал свое кругосветное «плавание открытий»; старинную акварель «Шлюп “Мирный”» Ф.Беллинсгаузена, с борта которого русские моряки в 1821 г. впервые взирали на ледяные берега Антарктиды; славный корабль «Бигль», вошедший в историю науки благодаря Ч.Дарвину, замыслившему во время плавания на нем теорию происхождения и эволюции видов; наши отечественные корветы «Витязь I» и «Витязь II» (на последнем из них Н.Миклухо-Маклай ходил в Новую Гвинею).

Среди более современных — первое в мире исследовательское немагнитное судно «Carnegie» (США), а также «Элтанин», «GLOMAR Challenger» и «JOIDES» (все три — США), с борта которых проводилось бурение дна в сотнях точек морей и океанов; за ними следуют наши «соотечественники» «Дмитрий Менделеев» и «Геолог Ферсман», а также французский «Coriolis», британский «Challenger» и японский «Hakuro Maru». Все они оставили неизгладимый след на страницах книги познания нашей планеты. Жаль только, что отечественная и в свое время единственная немагнитная шхуна «Заря», собравшая в плаваниях по программе Международного геофизического года (1956 и 1959 гг.) уникальные сведения о строении магнитного поля во многих акваториях, удостоилась здесь лишь весьма схематического черно-белого рисунка.

Ведь даже суда XVIII и начала XIX в., а тем более многие современники шхуны «Заря» даны во всех подробностях и в цвете; тем более жаль, что существуют вполне адекватные заслугам этого судна фотографии, сохранившиеся как в «родном» ему Институте земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, так и в фотоархиве ТАСС...

Исторический раздел удачно дополняют «предтечи» этого Атласа — относительно старые и выглядящие сегодня несколько наивными батиметрические карты, издававшиеся еще в 1903—1904, 1912—1913, 1940, 1975—1984 гг., по которым отлично прослеживается весь ход постепенного и все большего знакомства человечества с ложем морей и океанов.

Познание гигантского объекта, скрытого под мощным слоем морской воды и недоступного прямому наблюдению, без сложной аппаратуры невозможно. Поэтому текстовая часть Атласа, естественно, открывается описанием применяемой при этом новой исследовательской техники. Здесь мы знакомимся с наиболее современными методами навигации (включая и спутниковую), без которых геофизические и океанографические работы «повисают в воздухе», а также с системами определения скорости судна. Характеристика же собственно исследовательского оборудования начинается с описания таких незаменимых ныне инструментов, как многолучевые эхолоты и звуковые локаторы, позволяющие строить высокоточные трехмерные картины дна, включая даже малые формы его рельефа. Те приборы, которые стали использоваться в новейшее время, совмещают в себе возможности сонара (звукового локатора) с многолучевым эхолотированием на любой глубине и возможностью построения сейсмического профиля. Четкие схемы результатов работы такой аппаратуры и ее цветные фотопорт-

реты дают возможность ясно представить себе, как это делается и что получают ученые в качестве «сухого остатка».

Если же говорить о научном значении атласа Тихого океана, то, по мнению Г.Б.Удинцева, главного редактора этого издания, среди приведенных в нем данных по Тихоокеанскому тектоно-вулканическому «огненному кольцу» особенно важными стали результаты глубинного сейсмического профилирования подводных окраин континентов, островных дуг и сопряженных с ними глубоководных желобов. С этим профильным материалом сочетается глубокий анализ распределения сейсмической активности и механизма движений в очагах землетрясений, а также распространения разрушительных волн цунами. Подробнейшие морфологические и геофизические ис-

следования охватывают рифтогенальную систему, протянувшуюся через весь океан от хребта Хуан де Фука на севере и Восточно-Тихоокеанское и Южно-Тихоокеанское поднятия до Антарктики, с их гидротермальной активностью и формированием рудных месторождений. Детальное многолучевое и придонное эхолотирование, сопровождавшиеся непосредственными наблюдениями с обитаемых аппаратов, нашли отражение на многочисленных крупномасштабных картах рифтовой зоны и трансформных разломов. Труднодоступные для исследований области Антарктики описаны в серии карт и профилей глубинного сейсмического профилирования, позволяющих представить историю развития ледникового щита Антарктиды и влияние его пульсаций на термодинамику Мирового океана

и климат Земли. Широко отражены новые методы спутниковой альтиметрии и ее результатов в картах вариации силы тяжести и «предсказанного» рельефа океанского дна. В особенности ярко проявились возможности этих методов в обнаружении неизвестных ранее подводных гор и выявлении протяженных гигантских разломов океанского ложа. Подробные карты мощностей осадочного чехла океанского дна и, в особенности, краевых морей позволят исследователям оценить потенциальные ресурсы морских нефтегазовых месторождений.

Атлас Тихого океана стал достойным завершением уникальной серии международных геолого-геофизических атласов, создание которой потребовало многолетней (1966—2003) работы большого авторского коллектива. ■

### Медицина

**В.В.Лопатин, А.А.Аскадский.** ПОЛИАКРИЛАМИДНЫЕ ГИДРОГЕЛИ В МЕДИЦИНЕ. М.: Научный мир, 2004. 264 с.

С середины 80-х годов XX в. началось широкое использование синтетических полимерных материалов в медицине, в частности для эндопротезирования. Одним из самых распространенных материалов был силикон. Изделия на его основе (эндопротезы) использовались при пластике молочной железы и мягких тканей, в урологии, ортопедии и других областях хирургии. И хотя силикон считается одним из самых нетоксичных материалов, при имплантировании вокруг него через какое-то время начинала образовываться плотная фиброзная капсула.

Тогда же стали появляться публикации о применении по-

лиакриламидных материалов (гель «Интерфал»). Затем были разработаны другие варианты синтеза и проведена сравнительная оценка гистологии гелей, полученных по разной технологии. Появились и нашли широкое применение полиакриламидные гели «Форма-крил», «Космогель», «Аргиформ» и его разновидности, «Биофарм».

В книге приведены краткие сведения о полимерах и полимерных материалах, применяемых в медицине, причем особое внимание уделено полиакриламидным гелям. Проанализированы возможности предсказания физических свойств линейных и сетчатых полимеров на основе их химического строения, а также возможности компьютерного синтеза полимеров с заданными свойствами (термомеханическими, релаксационными). Рассказано об успешном применении гелей для вну-

тренного протезирования, пластики мягких тканей, маммопластики, для замены синовиальной жидкости и в урологии. Описан новый подход к иммунотерапии рака, а также проблемы, возникающие при имплантации гидрогеля в живой организм.

### Биология

**А.Ю.Цибулевский, С.Г.Мамонтов.** БИОЛОГИЯ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ: Структурированный курс. М.: Издат. центр «Академия», 2004. 704 с.

В этом учебном пособии на современном уровне изложен полный курс биологии на основании главных методологических принципов: эволюционного, системного и морфофункционального. Конкретный материал систематического обзора живой природы призван раскрыть идею эволюции, ле-

жащую в основе современной теоретической биологии.

Для облегчения запоминания и усвоения большого и достаточно сложного массива данных текст пособия сопровождается определениями, классификациями, таблицами, схемами, рисунками, комментариями, которые выстроены в соответствии с внутренней логикой темы.

Заканчивается книга тремя приложениями: в одном приведены главные вехи в развитии биологии; во втором введение в общую патологию; в третьем — вопросы для повторения, где даны и ответы на них. Книга адресована старшеклассникам общеобразовательных школ, лицеев, гимназий, хотя она полезна и выпускникам медицинских, ветеринарных и сельскохозяйственных училищ, готовящимся к поступлению в вузы.

### Психология

**Н.Н.Богданов.** ТИПОЛОГИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОСТИ. М.: Институт общегуманитарных исследований, 2004. 384 с. (Из сер. «Современная психология: теория и практика».)

В книге с позиций современных представлений о человеческой типологии рассматривается проблема индивидуальных различий — одна из актуальнейших в современной психологии и медицине. Знакома читателя с основными принципами конституциональных систем К.Сигго, Э.Кречмера, У.Шелдона и других, автор дает критический анализ сильных и слабых сторон этих систем и иллюстрирует их примерами из мировой литературы. Затрагивается проблема нормы и патологии, здоровья и болезни, как в сугубо телесной, так и в психической сферах.

Краткий экскурс в клиническую генетику и медицинскую синдромологию позволяет читателю понять пути развития современного учения о консти-

туции человека. В области частных конституций рассказывается о дерматоглифике — науке об узорах гребневой кожи рук и ног — этой уникальной маркерной системе человеческого организма. Написанное в живой и увлекательной манере, иллюстрированное уникальными материалами, издание может быть рекомендовано самому широкому кругу читателей.

### История науки

**З.С.Никоро.** ЭТО МОЯ НЕПОВТОРИМАЯ ЖИЗНЬ. Воспоминания генетика. Сост. Н.Н.Воронцов; Под общ. ред. Е.А.Ляпуновой и Е.А.Ароновой. М.: Academia, 2005. 288 с.

Воспоминания замечательного ученого-генетика и удивительного человека, Зои Софроньевны Никоро (1904—1984), долго ждали своей публикации. Были собраны фотографии и воспоминания знавших ее людей. Уже после смерти Никоро рукопись была подготовлена к печати в издательстве «Наука», но публикация так и не состоялась. Основой книги послужил машинописный вариант рукописи, хранящийся в личном архиве Н.Н.Воронцова и Е.А.Ляпуновой.

Зоя Софроньевна не успела закончить свои воспоминания: они обрываются на середине ее жизненного пути — конце 1930-х годов. Гражданская война и революция, жизнь в Бессарабии времен румынской оккупации, сталинская коллективизация, студенческие годы, научный быт экспериментальных генетических станций.

Это весьма ценный документ и как свидетельство очевидца важнейших событий минувшего века, и с точки зрения бытовых подробностей жизни советских людей, и как фактический материал по истории науки, в частности генетики. В книге публикуются библиография работ

Никоро, мемуарные заметки хорошо знавших ее ученых, архивные фотографии.

Зоя Софроньевна назвала свои воспоминания «Старческая болтовня», что очень соответствует самоироничному и приватному стилю ее повествования, однако едва ли укладывается в каноны академического издания. При подготовке рукописи авторское название было заменено, но полностью сохранен как авторский текст со всеми его отступлениями, так и авторский стиль как уникальный исторический материал.

### История науки

**И.Р.Пригожин.** ОПРЕДЕЛЕН ЛИ БУДУЩЕЕ? Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. 240 с.

Книга представляет собой сборник статей, посвященный памяти «современного Ньютона» Ильи Романовича Пригожина (1917—2003), выдающегося ученого 20-го столетия. Выход издания в свет приурочен к присвоению его имени Институту математических исследований сложных систем МГУ им.М.В.Ломоносова. В книгу вошли как статьи самого Пригожина, так и публикации его соратников и последователей, где авторы делятся своими воспоминаниями о великом ученом и прекрасном человеке, а также размышляют о его вкладе в современную науку и о ценности его творчества для будущего (см.: «Природа». 2004. №2.). Читатель найдет очерки о жизни и творческом пути, а также интервью с Ильей Романовичем, в котором он делится своими мыслями о современной науке и перспективах развития общества.

Сборник предназначен для широкого круга читателей: он полон интересных фактов из жизни Нобелевского лауреата, а также воспоминаний близко знавших Илью Романовича.

# Встречи с забытым Гербарий Абрахама Энса

А.К.СЫТИН,

кандидат биологических наук  
Ботанический институт им.В.Л.Комарова РАН

Л.В.РЯЗАНОВА

кандидат биологических наук  
Государственный педагогический университет им.А.И.Герцена  
Санкт-Петербург

Фонды Гербария Ботанического института РАН хранят ряд именных коллекций, в том числе обширные гербарии К.Триниуса и Ф.Маршалла фон Биберштейна. Воспроизведенные на микрофишах, они стали доступными для изучения во всем мире. Одно из самых старинных собраний растений — гербарий Абрахама Энса. Созданный в середине XVIII в. и долгое время остававшийся не описанным и неизученным, гербарий переведен на электронные носители и вводится в научный оборот. Какова же его историческая и научная ценность?

Гербарий петербургского медика и ботаника-любителя Абрахама Энса включает 1700 листов, вложенных по 1—10 экземпляров в обложки из цветного картона, иногда имеющие ярлык с названием рода. Растения прикреплены всей поверхностью на лист белой бумаги 56×29 см, окантованный цветной полоской с золотым тиснением. По обычаю своего времени Энс создает иллюзию букета, как бы погружая основания побегов в изящные, вырезанные из бумаги вазы или горшочки, украшенные орнаментом и аппликациями раскрашенных акварелью гравированных изображений. Снизу на листе указано место сбора и название растения, подтвержденное ссылкой на ботанические и медицинские сочинения,

в которых оно упоминалось. Обычно эта запись составляет несколько строк, написанных каллиграфическим почерком черными чернилами, часто со следами предварительной разметки текста карандашом. Иногда приводятся его немецкие и французские эквиваленты, они выполнены скорописью чернилами, порыжевшими от времени.

Энс собирал растения с 1732 по 1753 г., но свой окончательный вид гербарий обрел к середине XVIII в., о чем позволяют судить и некоторые косвенные данные, в частности особенности филигрانی (водяных знаков) на бумаге, по всей видимости, изготовленной в России, тогда как бумага с золотым тиснением произведена в Германии, в г. Аугсбурге, что подтверждает фабричный знак «Augsburg bei Johann Michael Munck».

Изготовление гербария было занятием трудоемким и дорогостоящим, так как цена клея и бумаги (особенно цветной) была высока, заказывались и специальные шкафы для хранения. Приверженность к порядку и умение довести начатое до конца позволили Энсу создать некий артефакт, соединивший научное знание с искусством графики. Как многие предметы эпохи Просвещения, оно сохранило элементы наследия барокко с его символикой и эмблематикой, но смысл комбинаций растений и изображений остается пока немой криптограммой.

Большую часть коллекции Энса составляют цветковые растения, а меньшую — папоротники и хвойные, совсем немногочисленны водоросли, мхи, грибы и лишайники. Имеется даже один представитель кораллов, относившихся тогда к группе зоофитов. Энс собирал как дикорастущие, так и культивируемые растения и, в совершенстве владея искусством составления гербария, сумел сохранить естественную окраску цветков, не поблекших до сих пор. Почти все растения, за редким исключением (злаки, хохлатки), лишены подземных частей. Отклонения от нормального развития, привлекавшие коллекционеров XVIII в. как курьезы, представлены лишь немногими экземплярами (*Scabiosa prolifera*) — очевидно, Энс не питал интереса к уродствам. Среди «декоративных» гербарных листов имеется и несколько неукрашенных, вероятно из других коллекций, и, как правило, неточно этикетированных. Так, лук (из группы европейских видов) имеет пометку «*ExKamtschatca*».

Частные коллекции позволяют догадываться о вкусах владельца. Гербарий Энса — не исключение, но, кроме ярко выраженных эстетических склонностей собирателя, свойственные ему терпение и педантичность позволили собрать серьезную научную коллекцию. Гербарий Энса до сих пор остается основным и весьма информативным

источником о своем владельце. Можно предположить, что Абрахам Энс был человеком просвещенным и состоятельным, обладавшим не только обширной эрудицией, но и ценной ботанической библиотекой. Он имел склонность к иллюстрированным изданиям и накопил множество гравированных листов, фрагменты которых монтировал вместе с растением, услаждая этим кропотливым занятием свои преклонные годы. В молодости же благоразумный и наблюдательный студент-медик имел возможность путешествовать по Европе с образовательной целью, осматривая ботанические сады и совершая экскурсии.

Абрахам Абрахамович Энс родился в 1713 г. на северо-востоке Германии, в г.Анкламе (Померания). Дата и место рождения — один из немногих известных нам фактов его биографии. Позднее семейство Энсов обосновалось в Петербурге, где владело собственным домом и садом, что подтверждает пометка, сделанная на нескольких гербарных листах («Из петербургского отцовского сада. 1747. А.Энс. Доктор»). На этих листах представлены несколько сортов садовых пионов и васильков,

овощные культуры — кресс-салат (*Lepidium sativum*) и редька. Возможно, при доме имелась и теплица, где мог плодоносить инжир (*Ficus carica*).

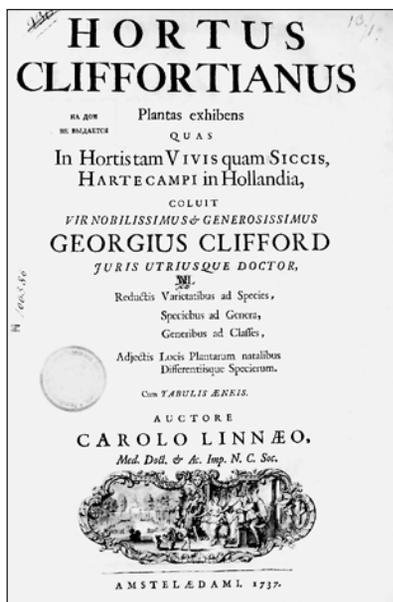
В 1729 г. некто Энс обратился в Петербургскую академию наук с просьбой о предоставлении ему возможности получить медицинское образование, при этом профессору Дювернуа\* поручено было наставлять «в анатомическом и методическом знании» студента Энса «по его желанию» [1].

Мы не можем утверждать с уверенностью, был ли этим студентом Абрахам, как и то обстоятельство, что начатое в Петербурге обучение он продолжил в Голландии у великого медика Германа Бургаве (1668—1738) — всеобщего европейского наставника, по собственной его аттестации. Получил ли Энс докторскую степень в Лейденском университете, куда стремились многие соискатели? Документальных подтверждений мы не имеем. Что касается увлече-

ния ботаникой, то, скорее всего, оно и началось в Лейдене, в 1732—1733 гг. Универсальный характер научного знания того времени позволял Бургаве пользоваться репутацией высшего авторитета не только в медицине, но и в ботанике. Он был автором прославленного труда «*Index alter plantarum quae in horto academico Lugduno-Batavo aluntur*» (1720), который неукоснительно цитирует Энс в своем гербарии наряду с сочинением «Перечень зрелища ботанического» (1623), написанным базельским профессором Каспаром Баугином (1560—1624).

Голландия оставалась в то время средоточием естественнонаучного собирательства. Редчайшие представители флоры Земли составляли гордость ботанических садов. Знаменитый Лейденский сад энергично пополнялся живыми растениями благодаря колониальным связям. Искусство препарирования тканей, стремившееся сохранять их естественный цвет и форму, также достигло совершенства. Приобщившись к этой традиции, Энс блистательно освоил технику засушивания растений — окраска листьев и цветков не утратили свежести, а побеги — гибкости за истекшие 250 лет.

\* Дювернуа Иоганн Георг (1691—1759) — профессор анатомии, хирургии и зоологии Петербургской академии наук. Был известен по прозвищу Ла бон Сир, что означает «добрый господин» (он лечил бесплатно бедных и давал деньги на лекарства).



Титульный лист сочинения К.Линнея «Hortus cliffortianus» (Амстердам, 1737). Гравюра, изображающая кэмпферию (*Kaempferia galanga*) из семейства имбирных (Zingiberaceae) и образец этого растения из гербария А.Энса.

Именно в Лейдене Энс собрал большую часть экзотических растений, причем из Лейденского ботанического сада, как, например, хорошая коллекция гелиотропов (*Heliotropium*). Обилие образцов, происходящих из этого прославленного учреждения, откуда было описано множество новых для науки видов растений, придает особую ценность гербарию Энса. Однако ботанические интересы Абрахама не ограничивались только садами. В том же году он собирал растения в Голландии, в местности, называемой им Нордвик; коллекционировал дикорастущие растения в Бельгии.

В Голландии могла произойти и встреча Энса с Карлом Линнеем. Здесь в 1735—1738 гг. молодой шведский ученый плодотворно трудился, приобрел всемирную славу и множество друзей. Возможно, его отношения с Энсом были достаточно теплыми, потому что Линней многие годы спустя помнил о нем, а в 1750 г. осведомился о его занятиях в письме к петербургскому академику С.П.Крашенинникову.

Хотелось бы утверждать, что знакомство с Линнеем способствовало коллекционерскому честолюбию Энса. В самом деле, в его гербарии имеются растения, описанные Линнеем, из сада Георга Клиффорта, директора Ост-Индской компании и владельца богатейшего сада в Гартекампе. Это *Bosia* L. из семейства амарантовых (*Amaranthaceae*) — род, названный Линнеем в честь Каспара Бозе, лейпцигского сенатора, покровителя ботаники, — и *Kaempferia* L. из семейства имбирных (*Zingiberaceae*) — посвященный врачу, естествоиспытателю и дипломату, знатоку растений Японии Энгельберту Кемпферу (1651—1716). Сад Клиффорта обладал богатейшим собранием экзотических растений, вывезенных из голландских колоний и выращиваемых в специальных оранжереях. Щедрость Клиффорта превратила изданный в Амстердаме каталог

в шедевр гравировального искусства. Линней же отблагодарил мецената тем, что назвал в его честь новый род *Cliffortia* L. (*Rosaceae*). Сочинение Линнея «*Hortus cliffortianus*» (1737) стало классическим образцом для составителей последующих описаний коллекций культивируемых растений. Важнейшая часть этого труда — описание новых таксонов, изображенных на 36 таблицах. Энс, раздобывший образцы новоописанных растений, ссылается на иллюстрации и страницы «*Hortus cliffortianus*», но специальные пометки, подтверждающие место сбора, каковые делались им в отношении растений из Лейденского сада, отсутствуют, и таким образом, происхождение их неясно. В разное время Линней и Энс посетили Англию, где первый побывал летом 1736 г., а Энс спустя два года — в 1738 г. По следам Линнея он посетил ботанический сад в Челси, где работал знаменитый садовник и ботаник Филипп Миллер, и в Оксфорде, которым заведывал немецкий профессор Иоганн Якоб Диллеиус. Богатая коллекция экзотических хвойных, судя по этикеткам, собрана им в Лондоне.

В сентябре 1738 г. умер Герман Бургаве, а Линней, совершив путешествие из Лейдена в Париж и Бельгию, возвратился в Швецию признанным лидером ботаники. В этом году лейденский сенатор и доктор медицины Ян Фреденрик Гроновиус присвоил изящному северному растению родовое название *Linnaea*. Линней ценил дружеское посвящение и впоследствии украсил свой дворянский герб эмблематическим изображением этого растения. Что касается Энса, то он вернулся в Голландию в 1740 г., но надолго оставил гербаризацию. Лишь в 1745 г. коллекционерская деятельность Абрахама возобновилась. Он собрал немало растений в Ботаническом саду Утрехта (Нидерланды), а также в Германии, например в Ганновере, Вернигероде и Хальберштад-

те — городках, лежащих в северных предгорьях Гарца, равно как и дикорастущие представители флоры самого горного массива Гарца, который называл Герцинским лесом. В следующем 1746 г. Энс вывез богатую коллекцию разновидностей мяты из Галле, собрал множество образцов в Иене, Лейпциге, Берлине, Дрездене, а также в прибалтийских государствах — Литве и Курляндии.

В 1747 г. Энс снова оказался в Петербурге и, радуясь возвращению под отчий кров, засушивал травы «из отцовского сада». Он находил интересные растения и в окрестностях Петербурга, например, редкие *Thalictrum minus* L. — василистник малый, *Chamaepericlymenum suecicum* (L.) Aschers. Grebn. — шведский дерен и ныне отсутствующий *Anthericum ramosum* — венечник лилейный, европейский вид, культивировавшийся с XVI в. и, очевидно, выращиваемый в петербургских садах до XX в.

Свидание с семьей было не продолжительным, и в том же 1747 г. Энс направился на Украину, где служил военным медиком в полку, дислоцированном в окрестностях Полтавы. Здесь он продолжил свои ботанические занятия, причем растения, собранные в окрестностях г. Лубны и Полтавы в 1747—1748 гг., этикетированы с большой полнотой. В этой лесостепной части Украины его особенно интересовали дикорастущие растения.

Не располагая данными о медицинской деятельности Энса, мы находим сведения о его ботанических занятиях в переписке петербургских ученых с Карлом Линнеем. Так, в 1750 г. академик Крашенинников, сообщая Линнею сведения о работавших в России ботаниках, писал, отвечая на вопрос корреспондента: «Энс, который, как тебе известно, служит на Украине полковым доктором, вопреки своим обещаниям, ничего нам не пишет. Если бы он имел столько же желания заниматься прираще-

нием ботаники, сколько умножением своего гербария, то мы могли бы узнать от него о многих редких растениях, так как он уже давно находится в местах, изобилующих растениями и никем не изученных» [2].

В 1752 г. Энс побывал в Петербурге, а также в Финляндии, в Выборге, где в числе собранных им растений имеется и *Linnaea borealis*. В 1753 г. он путешествует по Эстонии и в окрестностях Ревеля собирает редкий солнцезвезд *Helianthemum nummularium* (L.) Mill.

В том же году он гостил в Москве, откуда привез красивый экземпляр колокольчика крапиволистного, а также несколько образцов обыкновенной капусты. Скитания Энса заканчиваются после выхода в отставку в 1757 г. Он поселяется в Петербурге и углубляется в науку, пользуясь известным авторитетом в столице. Ученик и доверенное лицо Линнея в России Иоганн Фальк, в то время заведовавший Медицинским садом на Аптекарском о-ве, в одном из регулярных отчетов (от 12 января 1768 г.) сетует своему великому покровителю, что с приездом в Россию С.Г. Гмелина (младшего) и П.С. Палласа «кончилось первенство ботаничес-

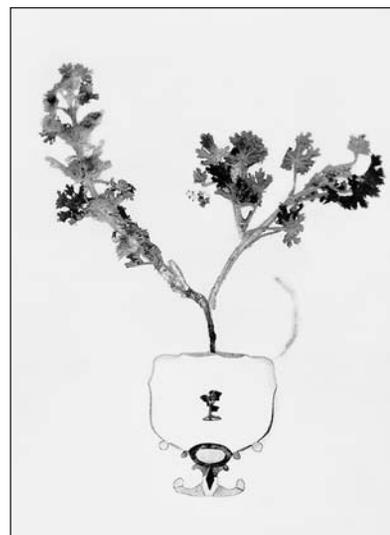
кое в России для д-ра Энса, Лерхе и меня» [3].

Как бы то ни было, Энс продолжал заниматься своим гербарием, цитируя названия видов по последним изданиям Петербургской академии наук, в частности 3-ему тому «Flora Sibirica» Иоганна Георга Гмелина, отредактированному его племянником Самуилом Готтлибом (Гмелином-младшим) и опубликованному в том же 1768 г. Ссылка на эту работу позволяет уточнить датировку создания гербария, косвенно подтверждаемую и анализом водяных знаков. Немаловажно для истории ботаники, что в коллекции Энса имеются растения, собранные в Петербурге, но происходящие из Сибири. Эти растения, доставленные участниками Второй камчатской экспедиции, выращивались в Ботаническом саду Петербургской академии наук. Это *Leptopyrum fumarioides* (L.) Reichenb. из семейства лютиковых. Подтверждение о том, что *Leptopyrum fumarioides* выращивался в ботаническом саду Академии наук на Васильевском острове, находим у Аммана: он приводит наблюдение Гмелина, собравшего материал в Забайкалье, а также отождествляет с ним растение, описанное Мессершмидтом в дневнике и собранное в ок-

рестностях села Оттоманово на Енисее [4].

Имеются и другие сибирские растения — *Lathyroides* (*Orobanchis lathyroides*), *Cotyledon* (*Orostachys*), *Hesperis foliis linearibus* (*Hesperis matronalis*). Так как рисунок последнего вида ни Гмелин, ни Амман не приводят, гербарий Энса хранит единственное свидетельство об этом растении. Эти сведения важны таксономистам, а историков ландшафтного садоводства могут заинтересовать представительные коллекции ныне забытых сортов растений, например большая серия образцов примулы-аурикул, которые особенно любила Екатерина Великая.

Таким образом, изучение состава гербария Абрахама Энса показало, что это не просто любопытный раритет, причудливое создание ботаника-любителя. Экземпляры редчайших растений, возможно, тех же, что использовал для описания новых видов Линней, достоверно происходящие из ведущих ботанических центров Европы, представляют интерес для систематики, в частности типификации названий. В нем представлены не только растения Гарца, излюбленной коллекторами части Германии, но и первые гербар-



Титульный лист сочинения И.Г.Гмелина «Flora Sibirica» (Санкт-Петербург, 1768). Гравюра, изображающая панцерину (*Panzerina lanata*) из семейства губоцветных (Labiatae), и образец этого растения из гербария Энса.

ные сборы растений Украины. Не менее чем для ботаники, коллекция Энса интересна и для истории культуры. Декоративные элементы оформления гербарных листов заимствованы из невыявленных еще печатных источников. Гравюры, раскрашенные акварелью, обстоятельно повествуют о своем времени. Вглядываясь в гравированные изображения, миниатюрные, но филигранно выполненные, мы открываем тонкие детали непарадного быта XVIII в. представителей всех сословий — торговцев, ремесленников, солдат, музыкантов — степенно занятых своим делом; жеманные кавалеры и дамы разыгрывают галантные сцены, немалое место занимают батальные эпизоды, тогда как аллегорических сцен немного. Имеется множество изобра-

жений животных, особенно птиц. Словом, полный живых красок мир осмнадцатого столетия, запечатленный умным, много на своем веку повидавшим современником, входит в мир компьютерных технологий XXI века.

Предназначенный для тесного семейного круга, гербарий Энса воплощал принцип педагогической доктрины эпохи Просвещения — «Развлекая — поучать» — и почти полтора столетия хранился как семейная драгоценность. Коллекция Энса поступила в Ботанический музей Академии наук в 1914 г. Первая мировая война покончила с патриархальным бытом старого Петербурга. Шовинистические выпады против лиц с немецкими фамилиями вынудили многие семьи к эмиграции. Оче-

видно, потомки Энса были в их числе, но, оставляя Россию, доверили заботу о гербарии солидному учреждению [5]. В настоящее время гербарий Энса хранится в фондах Гербария высших растений Ботанического института им.В.Л.Комарова РАН как особая коллекция. Поскольку частные собрания засушенных растений середины XVIII в. до нашего времени сохранились лишь фрагментарно, то большой корпус гербария Энса представляет огромную историческую ценность. ■

**Работа выполнена при поддержке фонда Научной программы Санкт-Петербургского научного центра и Российского гуманитарного научного фонда. Номер проекта 05-03-03133А.**

## Литература

1. Летопись Российской Академии наук. Т.1. 1724—1802. СПб., 2000.
2. *Рязанская К.В.* Переписка Карла Линнея с С.П.Крашенинниковым // Карл Линней: Сб. статей. М., 1958. С.241.
3. *Липский В.И.* Исторический очерк императорского С.-Петербургского Ботанического сада // Императорский С.-Петербургский Ботанический сад за 200 лет его существования. СПб., 1913.
4. *Atman J.* Stirpium rariorum Imperio Rutheno Icones et Descriptiones. Petropoli. 1739. P.75.
5. Архив ПФА РАН. Ф.303. Оп.1. Д.71. Л.9.

# 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 16.05.2005  
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 332  
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»  
Академиздатцентра «Наука» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6