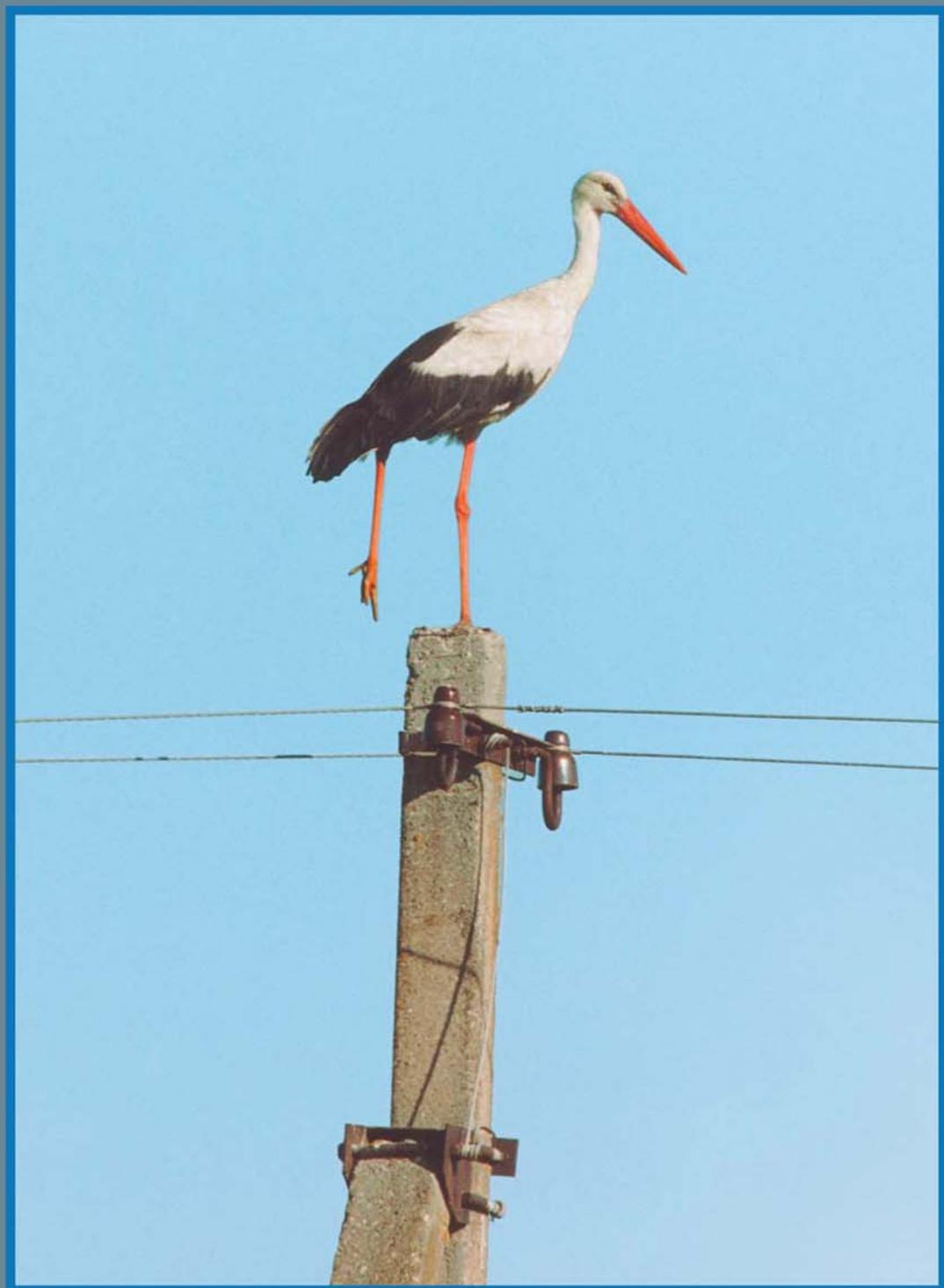


# ПРИРОДА

5 04



**В НОМЕРЕ:****3 Курочкин Е.Н.****Четырехкрылый динозавр и происхождение птиц**

Птицы произошли от динозавров, или, напротив, динозавры — от птиц? Такие споры не утихают до сих пор. Однако новые находки оперенных динозавров говорят об их независимом происхождении.

**13 Бейер Т.В., Свежова Н.В.****Принцип троянского коня, или Как протозойный патоген проникает в живую клетку**

Живая клетка подобна неприступной крепости. Тем не менее, кокцидии (паразитические простейшие), как и данайцы, обманным путем проникают в нее и успешно там развиваются.

**20 Золотухин И.В., Калинин Ю.Е.****Замечательные качества углеродных нанотрубок**

По своей структуре углеродные нанотрубки занимают промежуточное положение между графитом и фуллеренами. Однако по многим свойствам они разительно отличаются и от графита, и от фуллеренов.

**28 Сахарова Н.Ю.****Млекопитающие: эмбрион в личинке**

В раннем периоде развития плацентарных млекопитающих, этих высоко организованных животных, решительно подчеркивается сходство с их прямыми эволюционными предшественниками. Чем же объяснить парадоксы и загадки начальных стадий зародышевого развития?

**38****Калейдоскоп**

Венера на фоне солнечного диска (38). Электрические батареи из бактерий (39). Динамика гор (39). Афганские древности — трудный путь к спасению (39). Рисунки австралийцев-аборигенов (39). Английское искусство каменного века (40). Перспективы программы океанского бурения (40).

**Резонанс****41 Никонов А.А.****Сильнейшие исторические землетрясения на Алтае и сейсмический потенциал региона**

Произошедшее в Горном Алтае осенью 2003 г. сильное землетрясение заставило пристальнее оценить сейсмическую ситуацию в данном регионе. Но сделать это можно только на основе не менее тщательного изучения ретроспективы.

**Заметки и наблюдения****48 Уфимцев Г.Ф.****Флегрейские поля****Булавинцев В.И.****Аист на крыше... (52)****Мурзин Ю.А.****Кигиляхи Якутии (54)****Вести из экспедиций****58 Мурдмаа И.О., Келлер Н.Б.****На пороге Средиземноморья****66****Архивные SMS-ки****«Отрывать же головы... решительно не имели времени»****Наследие****67 Капица Е.Л.****Из писем А.Н.Крылова дочери**

Перед глазами Анны Алексеевны Капицы (по рождению Крыловой) прошел весь XX век. Она скончалась 93 лет от роду и до последних дней сохранила интерес к жизни прошлой, настоящей и будущей. Когда покинул этот мир ее отец, выдающийся ученый академик Крылов, она передала его архив в музей, а себе оставила коробочку с надписью «папины пустишки» да связку его писем.

**80****Новости науки**

Структура активного ядра галактики NGC 1068. Сурдин В.Г. (80). В поисках гравитационных волн (81). Путь к астероидам (81). Космический телескоп им.Джеймса Уэбба (82). Космические лучи — проблема международная (82). Резонансное туннелирование фотонов и бесконтактное трение (83). Не понравилось — сотри (83). Крупные хищники вымирают быстрее (84). Динго — потомки дворян (84). Хитрые самки пятнистой гиены. Опаев А.С. (85). Что такое «копулексус»? Семенов Д.В. (85). Нитраты под пустынями (86). Проблемы геологического возраста (86). Питон-де-ла-Фурнез пробудился (87). Современный климат Северной и Центральной Азии (87). Из одного гнезда (88).  
Коротко (19, 27, 65)

**Рецензии****89 Зубрева М.Ю.****Жить ради чести****92****Новые книги****Встречи с забытым****93 Вергасов В.Л., Ключковская В.В.****Первый российский электронографист К 100-летию со дня рождения З.Г.Пинскера**

**CONTENTS:****3 Kurochkin E.N.****The Tetrapterous Dinosaur and the Origin of Birds**

*Did the birds descend from the dinosaurs or did the dinosaurs descend from the birds? This question is still under debate. However, the new finds of feathered dinosaurs indicate their separate origin.*

**13 Beier T.V. and Svezhova N.V.****The Trojan Horse Principle, or How a Protozoan Pathogen Penetrates a Living Cell**

*A living cell is like an impregnable fortress. Nevertheless, Coccidia (parasitic protozoans), like the Greeks in the capture of Troy, penetrate it by means of a stratagem and successfully develop there.*

**20 Zolotukhin I.V. and Kalinin Yu.E.****The Wonderful Qualities of Carbon Nanotubes**

*Structurally, carbon nanotubes are intermediate between graphite and fullerenes. However, they have many properties that are drastically different from those of graphite and fullerenes.*

**28 Sakharova N.Yu.****Mammals: Embryo in a Larva**

*In the early stages of development of placental mammals, these highly organized animals, any similarity to their direct evolutionary ancestors appears to be completely erased. How can one explain the paradoxes and enigmas of the early embryonic stages?*

**38 Kaleidoscope**

Venus against the Backdrop of the Solar Disk (38). Electric Batteries Based on Bacteria (39). Mountain Dynamics (39). Ancient Monuments of Afghanistan: The Hard Road to Salvation (39). Paintings by Australian Aborigines (39). The English Art of the Stone Age (40). The Outlook for the Ocean Drilling Program (40).

**Response****41 Nikonov A.A.****The Strongest Historical Earthquakes in the Altai and the Seismic Potential of This Region**

*The strong earthquake that occurred in the Gorno-Altai Autonomous Region in the fall of 2003 prompted a careful assessment of regional seismicity. The only way to do it, however, is through a no less careful investigation of past events.*

**Notes and Observations****48 Ufimtsev G.F.****Phlegraean Fields****Bulavintsev V.I.****A Stork on the Rooftop... (52)****Murzin Yu.A.****Kigilyakhi of Yakutia (54)****News from Expeditions****58 Murdmaa I.O. and Keller N.B.****At the Edge of the Mediterranean Region****66 Archival SMSs****«We Had Absolutely no Time... for Tearing off the Heads»****Legacy****67 Kapitsa E.L.****From A.N. Krylov's Letters to His Daughter**

*Nearly the entire 20th century passed before the eyes of Anna Alekseevna Kapitsa (nee Krylova). She died at age 93, and until her very last days she retained an interest in life in its past, present, and future tenses. After the death of her father, outstanding scientist Academician A.N. Krylov, she handed over his archives to a museum and kept only a box labeled «Daddy's Trivia» and a bundle of his letters.*

**80 Science News**

The Structure of the Active Nucleus of the Galaxy NGC 1068. **Surdin V.G. (80)**. In Search of Gravitational Waves (81). The Path to Asteroids (81). The James Webb Space Telescope (82). Cosmic Rays Are an International Problem (82). Resonant Photon Tunneling and Contact-free Friction (83). If You Don't Like It, Erase It (83). Large Predators Die out at a Faster Rate (84). Dingoes Are Descendants of Mongrels (84). Sly Spotted Hyena Females. **Opaev A.S. (85)**. What Is «Copulexus»? **Semenov D.V. (85)**. Nitrates beneath Deserts (86). Aspects of Geological Age (86). Piton de la Fourne Has Awoken (87). The Modern-Day Climate of North and Central Asia (87). From the Same Nest (88). *In Brief (19, 27, 65)*

**Book Reviews****89 Zubreva M.Yu.****To Live for Honor****92 New Books****Encounters with the Forgotten****93 Vergasov V.L. and Klechkovskaya V.V.****The First Russian Electronographer**

*On the Centennial of the Birth of Z.G. Pinsker*

# Четырехкрылый динозавр и происхождение птиц

Е.Н.Курочкин

**В**опрос о происхождении птиц — один из самых горячо обсуждаемых в современной эволюционной теории. В непримиримых спорах сходятся сторонники кладистической филогении и классической филогенетики. «Выгляни в окно и увидишь современного динозавра в перьях», — говорят кладисты. «Птицы — не динозавры», — утверждают сторонники традиционных методов исследования исторического развития птиц. Скорее всего, истина — где-то посередине, как это часто случается в науке. И хотя в последние годы острота споров заметно возросла, после открытия в Китае разнообразных оперенных динозавров кому-то может показаться, что проблема происхождения птиц и их полета уже решена.

В очередной раз китайские палеонтологи удивили мир описанием нового оперенного существа из нижнемеловых отложений формации Исянь. На северо-востоке Китайской Народной Республики, в западной части провинции Ляонин, нашли небольшое создание, длинной около 77 см, с маховыми (летательными) перьями не только на крыльях, но и на задних лапах! На обеих конечностях перья имели асимметричные опа-

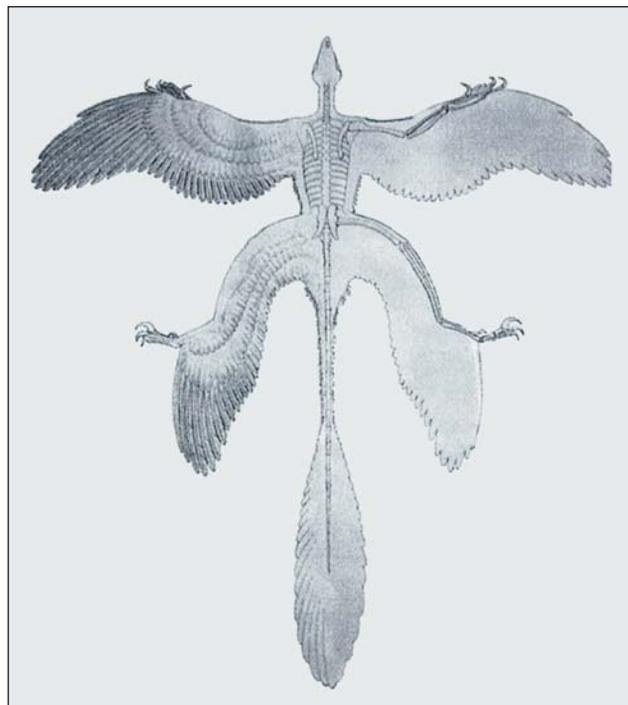
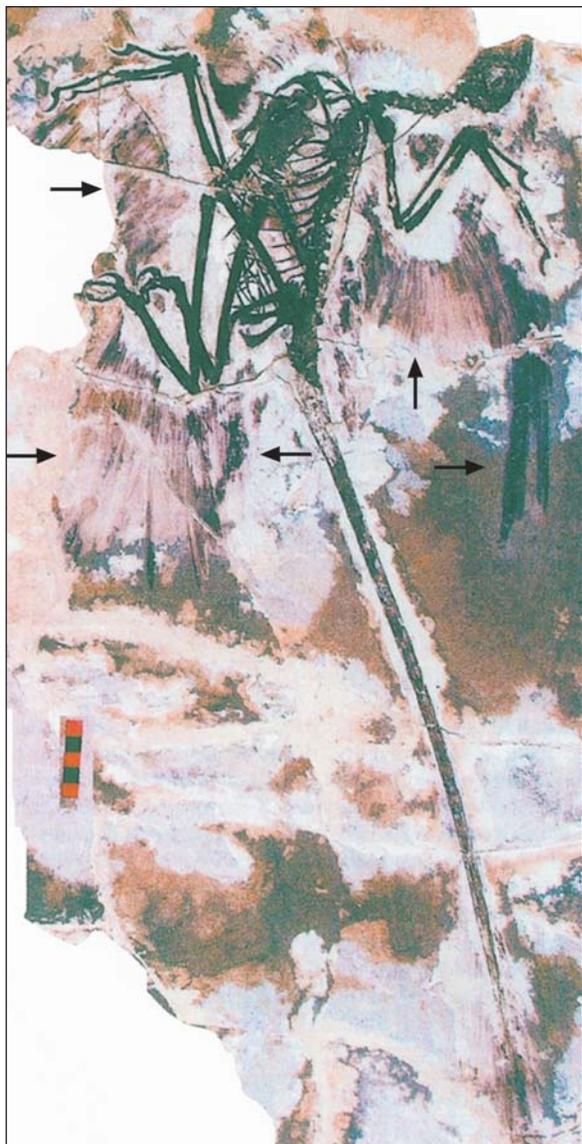


*Евгений Николаевич Курочкин, доктор биологических наук, заведующий лабораторией палеогерпетологии и палеорнитологии Палеонтологического института РАН. Специалист в области палеонтологии и зоологии позвоночных животных. Основные научные труды посвящены систематике, морфологии, эволюции, монографическому описанию современных и ископаемых птиц и происхождению класса птиц. Автор новых концепций и гипотезы ранней эволюции и филогении класса птиц. Участник и организатор многих экспедиций во все уголки России и в другие страны. Президент Мензбировского орнитологического общества, член Международного орнитологического комитета, член нескольких отечественных и зарубежных научных обществ. Неоднократно публиковался в журнале «Природа».*

хала — узкий наружный край и широкий внутренний (у птиц такая асимметрия связана с аэродинамической функцией). Маховые перья на передней конечности, подобно современным птицам, можно разделить на первостепенные (приблизительно 12 перьев, самое длинное — 222 мм) и второстепенные (приблизительно 18, длиной 81—95 мм). Около первого пальца отпечаталось несколько маленьких прямых перьев, которые относят к крылышку, об-

разованию, выполняющему у современных птиц аэродинамическую функцию (у археоптериксов и конфуциусорнисов его нет). Таким образом, переднюю оперенную конечность этого существа с полным правом можно назвать крылом. На задней лапе — не менее 14 удлинненных, прилегающих к плюсне перьев (104—194 мм), около голени они заметно короче. Как называть подобное образование? Задним крылом? И тогда все существо — четырехкрылым?

© Курочкин Е.Н., 2004



Слева: скелет микрооратора гуи, *Microoraptor gui*. Маховые перья крыла и ноги отмечены стрелками. Справа: реконструкция планирующего микрооратора гуи, сделанная авторами находки: ноги широко расставлены в стороны, а бедра занимают горизонтальное положение. (Nature. 2003. V.421. №6925.)

Хвост из 26 позвонков занимает 2/3 общей длины тела, а его конец также снабжен перьями. Они начинаются с 15–18 позвонка, имеют длину 105–120 мм и образуют подобие лопасти. Мелкое (25–30 мм) оперение просматривается кое-где на туловище и на голове, а на затылке перья удлинены до 40 мм в виде хохла. Детали строения черепа видны плохо, но выделяется характерная для хищных динозавров трехлучевая заглазничная кость. Плоская и довольно большая грудина представлена единой пластиной (у дромеозавров она в виде двух отдельных образований), имеются

крючковидные отростки на ребрах и слитые под заостренным углом лопатка и коракоид. Все три сегмента крыла (плечо, предплечье и кисть) удлинены, локтевая кость предплечья изогнута, а лучевая тоньше локтевой. Первая метакарпalia заметно короче, чем две другие. Довольно длинные фаланги пальцев крыла заканчиваются изогнутыми и заостренными когтями, особенно большими на первом и втором пальцах. Лобковая кость таза обращена вниз и сильно изогнута. Сегменты ноги (бедро, голень и стопа) также удлинены, а пальцы лапы короткие, но второй отлича-

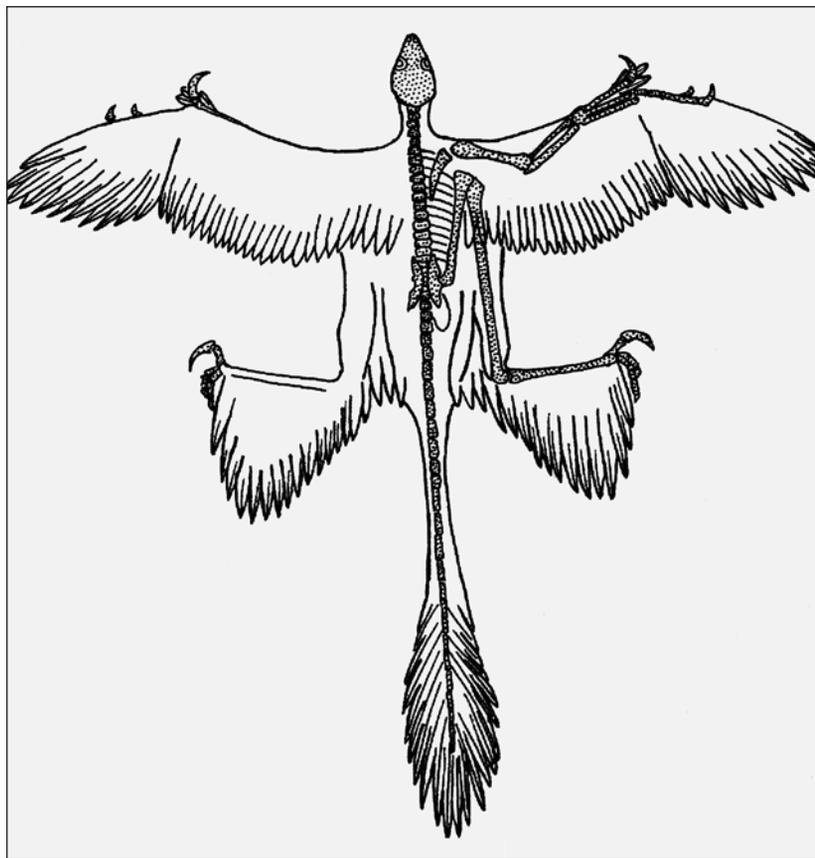
ется крупной и длинной серповидной когтевой фалангой, характерной для дромеозаврид (Dromeosauridae). И по ряду других признаков четырехкрыл сходен с дромеозаврами, которые у кладистов часто получают ближайшими родственниками птиц.

Нового дромеозавра описали по двум почти полным скелетам и назвали микрооратор гуи (*Microoraptor gui*). Три похожих на него фрагментарных экземпляра отнесены только к *Microoraptor sp.*, а еще один — к неопределимому ближе дромеозавриду (Dromeosauridae gen.). Новый вид по нескольким призна-

кам отличается от *Microraptor zhaioianus*, описанного по задней части скелета в 2000 г. [2]. У него отмечали лишь следы мелкого покровного оперения. Однако если присмотреться к его опубликованным фотографиям, можно заметить группу длинных прямых перьев, примыкающих к голени.

Сразу же после выхода статьи о четырехкрылом микрорапторе в Интернете всплыло сообщение о находке похожего существа (оно было опубликовано несколькими месяцами ранее, и авторы *Microraptor gui* его не заметили). В августе 2002 г. С.Черкас с соавторами из Палеонтологического музея и администрации провинции Ляонин описали летающего дromeозавра из тех же нижнемеловых отложений провинции Ляонин — криптоволанса (*Cryptovolans pauli*). По мнению авторов статьи [3], его длинные маховые перья на передних конечностях позволяли ему неплохо летать. Около задних конечностей криптоволанса также отпечатались удлинненные перья. На великолепных цветных фотографиях видно, что они относятся к таким же задним крыльям, как и у микрораптора гуи. Поэтому можно считать, что четырехкрыл стал известен на полгода раньше. Осталось сравнить строение скелетов криптоволанса и микрораптора: на иллюстрациях они выглядят очень похожими. Если будет установлена общность деталей их строения, тогда, в соответствии с Международным кодексом зоологической номенклатуры, названия *Cryptovolans* и *gui* отойдут в синонимы, а четырехкрыл станет называться *Microraptor pauli*.

Длинные и асимметричные перья на ногах у микрораптора *M.zhaioianus*, скорее всего, имели отношение к полету. Авторы нового *M.gui* предполагают, что в воздухе он расставлял оперенные ноги в стороны, тем самым заметно увеличивая несущую поверхность тела и повышая свои планирующие возможнос-



Новая оригинальная реконструкция планирующего микрораптора гуи: бедра и голени подведены под тело, в горизонтальном положении только плюсна, снабженная наиболее длинными маховыми перьями на задней конечности.

ти. Длинный хвост с лопастью из перьев на конце мог служить хорошим рулем. Именно так микрораптор изображен на реконструкции в «Nature», которая обошла многие газеты, журналы и экраны мира. Но подобное горизонтальное положение расставленных ног вызвало возражения у многих специалистов [4].

Бедро у динозавров, как, впрочем, и у птиц, не отводится в сторону из-за особенностей строения тазобедренного сустава, а двигается только вперед-назад в вертикальной плоскости. Значит, предположение о функции руля оперенных ног — маловероятно.

На наш взгляд, микрораптор мог использовать плоскости задних крыльев иным путем. Ес-

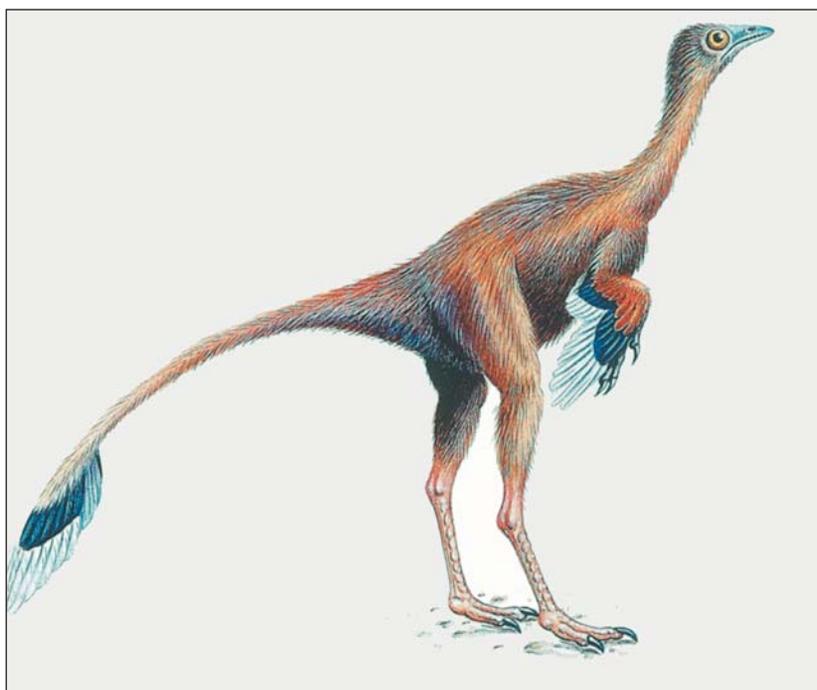
ли при согнутых в коленном суставе бедре и голени вращать голень наружу, то плюсна в конце концов займет горизонтальное положение (под 90° к голени), и тогда имеющиеся на ней длинные перья действительно могут образовать как бы задние крылья. У специализированных водных птиц при нырянии точно так же сгибаются и вращаются сегменты ноги. В случае с микрораптором становится понятным наибольшее удлинение перьев именно на плюсне, а не на голени или бедре, как это кажется логичным для гипотетического четырехкрыла.

Однако, по мнению авторов статьи, при передвижении по земле задние крылья на ногах могли только мешать микрораптору. Поэтому они полагают,



Слева: скелет каудиптерикса, *Caudipteryx zoui*. Удлиненные перья передних конечностей и хвоста отмечены стрелками. Справа: реконструкция внешнего вида каудиптерикса – оперенного овираторида из нижнемеловых отложений Китая. (D.Lambert et al. Dinosaurs Encyclopedia. 2001.)

Фото Е.Н.Курочкина



Реконструкция внешнего вида протархеоптерикса – оперенного целурозавра из нижнемеловых отложений Китая. (D.Palmer, ed. 1999. Encyclopedia of Dinosaurs.)

что он вел древесный образ жизни (планируя, перемещался с одного места на другое) и его можно считать переходной планирующей стадией на пути формирования полета и переходным звеном между тероподами и настоящими птицами. Таким образом, авторы придерживаются древесной гипотезы происхождения летающих птиц. С этим заключением трудно согласиться. Весь известный спектр планирующих животных показывает, что в их эволюции ни один не перешел к настоящему машущему полету. Скорее всего, предполетные адаптации могли развиваться в смешанном древесно-наземном варианте. Но сторонники наземной («с земли—вверх») или древесной («с деревьев—вниз») гипотез почему-то всегда ищут их в чисто наземном или древесном вариантах.

Микрораптор гуи — не первый оперенный динозавр. Начиная с 1996 г. в нижнемеловых отложениях Китая обнаружено 10 видов различных тероподных динозавров, имевших оперение или пуховидный покров [5, 6, 7]. Они относятся, по меньшей мере, к четырем семействам группы целурозавровых динозавров: компсогнатидам (*Sinosauropteryx*), овирапторидам (*Caudipteryx*), теризинозавридам (*Beipiaosaurus*) и дромеозавридам (*Microraptor*, *Sinornithosaurus*, *Scansoriopteryx*). Не ясна таксономическая принадлежность еще двух китайских раннемеловых целурозавров с перьями — протархеоптерикса (*Protarchaeopteryx*) и эпидендрозавра (*Epidendrosaurus*). Возможно, верхнемеловой монгольский авимимус (*Avimimus*) из семейства авимимид тоже имел оперение. Считают, что у троодонтид (Troodontidae), проблематичных альваресзаврид (*Alvarezsauridae*) — шувуйи (*Shuvuuia*) и мононикуса (*Mononykus*) из верхнего мела Монголии также был пухообразный покров. Формы оперенности очень разнообразны: одни по-

крыты волосовидными образованиями, другие — мелкими пучковидными метелками, а третьи — мелкими перьями со сплошными опахалами. У каудиптерикса, протархеоптерикса и микрораптора на хвосте и конечностях развивались перья большей или меньшей длины с симметричными или асимметричными опахалами [6]. У микрораптора гуи они выглядят настоящими летательными перьями с заостренными вершинами и асимметричными опахалами.

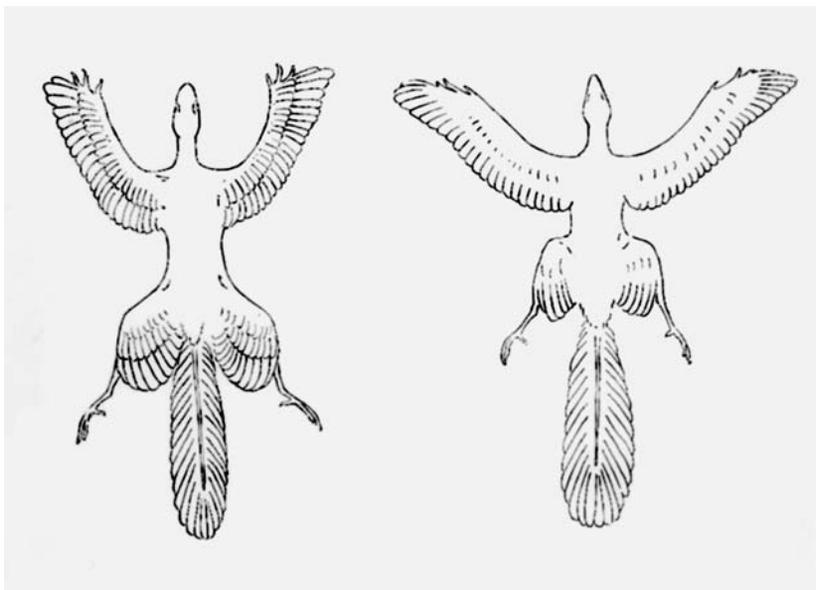
Но все эти оперенные тероподы, кроме микрораптора, были наземными бегающими животными, весом в 30–80 кг, явно не способными к полету. Сторонники происхождения птиц от тероподных динозавров доказывали, что именно подобные мелкие формы и были предками настоящих летающих птиц [8, 9]. Некоторые из них, например, альваресзавриды, попадали в кладограммах между археоптериксом и остальными птицами, т.е. получались даже более птичьими существами, чем археоптерикс, и образовывали с веерохвостыми птицами сестринскую группу [10].

Еще 30 лет назад наибольшим признанием пользовалась древесная гипотеза происхождения полета и птиц от мелких лазающих текодонтот. В последнее время большую популярность приобрела наземная гипотеза: мелкие бегающие хищные динозавры полетели через все ускоряющийся бег и стали настоящими птицами.

Микрораптор — первый маленький дромеозавр, явно способный передвигаться в воздухе, по меньшей мере, планируя, а возможно, и машущим полетом [4]. В связи с его открытием вспомнили о давней гипотезе У.Биба о гипотетическом тетраптериксе (*Tetrapteryx*) с оперенными передними и задними конечностями [11] и гипотетической проптице (*Proavian*) Ж.Хейльмана [12]. У тетраптерикса маховые перья «тазовых крыльев», как их называл Биб,

в первую очередь предполагались на бедрах. А у проптицы удлиненные чешуи изображались вдоль заднего края бедер и плечевых сегментов, вдоль боков тела и хвоста. Биба к такой гипотезе привела находка крупных перьевых пеньков, появляющихся на задней стороне бедер у 3–4-дневных птенцов горлицы, домашнего голубя и яканы. К тому же на фотографиях берлинского экземпляра археоптерикса он увидел удлиненные перья на бедрах, чего другие исследователи не смогли подтвердить. Хейльман искал зачатки крупных перьев на ногах у птенцов многих птиц, но обнаружил их только на бедрах у домашнего голубя. Поэтому он хотя и согласился в общем виде с гипотезой Биба, но полагал, что дополнительные несущие поверхности для планирования возникали у гипотетической проптицы только на этапе удлиненных чешуй.

Гипотетические тетраптерикс и проптица с перьями или чешуями на плечах и бедрах считались промежуточной стадией между лазающими древесными рептилиями и летающим археоптериксом. Но новые данные по микрорапторам и другим оперенным динозаврам существенно уточнили (если не изменили) такой гипотетический эволюционный сценарий. У известных сегодня ископаемых длинных перья, прежде всего, появляются на конечных сегментах конечностей: на концах крыльев у каудиптерикса, протархеоптерикса и микрораптора, на плюсне у микрорапторов. Не учитывая таких новаций при формировании полетных адаптаций, авторы статьи о микрорапторе гуи, так же как и комментировавший эту находку орнитолог Р.Прум из Канзасского университета в Лоренсе, полагают, что микрораптор подтверждает правильность гипотезы Биба о происхождении настоящего полета птиц через четырехкрылую планирующую стадию [4]. Теперь они склонны



Гипотетический тетраптерикс (слева) Ч.Биба и археоптерикс Ж.Хейльмана, у которых оперение предполагалось на бедренном сегменте ноги. (G.Heilmann, 1926.)

поддерживать древесную гипотезу происхождения летающих птиц. До последнего времени большинство кладистов были солидарны с наземной гипотезой, основываясь на находках бегающих оперенных тероподных динозавров в тех же отложениях.

Четырехкрылый микрораптор внес большую сумятицу в среду специалистов, занимающихся происхождением птиц. Некоторые, ранее считавшие птиц производными от дромеозаврид или овирапторид, теперь полагают, что эти динозавры произошли от птиц, спустившихся с деревьев на землю и утративших способность к полету, предками которых были тероподные динозавры. Гипотеза не нова, ее высказывал в 1980-х годах Г.Поль [13]. А еще раньше, в 1947 г., российский зоолог И.И.Шмальгаузен писал, что наземные бегающие целурозавры произошли от лазающих по деревьям общих предков птиц и динозавров [14]. С другой стороны, некоторые сторонники более древнего происхождения птиц от каких-то ранних теко-

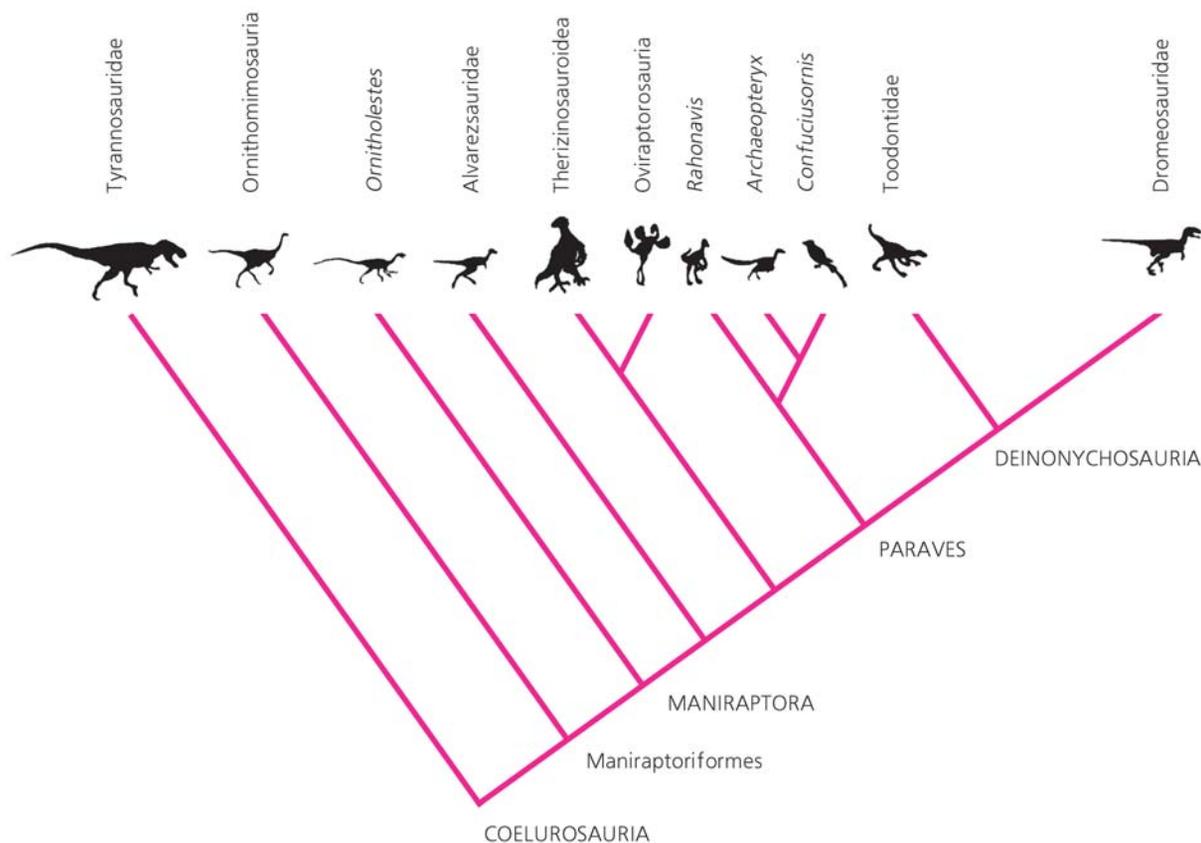
донтов предлагают считать овирапторид и дромеозаврид не динозаврами, а птицами, утратившими способность летать, но которые никогда не были динозаврами. При этом приверженцы обеих гипотез продолжают называть археоптерикса первоптицей — предком или сестринской группой всех позднейших птиц. Именно в такой постановке, видимо, кроется противоречивость и несогласованность обеих гипотез.

Многие исследователи археоптерикса, начиная с И.Вагнера (1861), рассматривали его не иначе как оперенной рептилией, и только наличие перьев и нескольких особенностей в строении скелета заставляли относить археоптерикса к птицам. Сегодня особенно популярной стала гипотеза происхождения птиц от динозавров, выдвинутая Т.Хаксли (1870), поддержанная К.Гегенбауром (1878), Г.Осборном (1900) и развитая Дж.Остромом (1974). Другие специалисты находили доводы, отрицающие археоптерикса как предка для остальных птиц, и признавали археоптериковую линию эво-

люции тупиковой (А.Павлов, 1884; М.Мензбир, 1887; П.Лоу, 1944; Р.Тальборн, 1984; Е.Курочкин, 1995, 2001).

Теперь, как мы знаем, у археоптерикса не осталось ни одного прогрессивного признака настоящих веерохвостых птиц (к ним относятся все современные птицы и некоторые вымершие отряды). Характерные для него оперение, крючковидные отростки на ребрах и вилочка, бумерангоподобная кость плечевого пояса — все эти черты сегодня выявлены у представителей различных тероподных динозавров. В то же время у них и у археоптерикса нет типичных птичьих признаков (гетероцельных позвонков, больших лобных костей, двухголовчатой квадратной кости, подвижного сочленения между коракоидом и лопаткой, при их удлинненной форме, истинного интертарзального сочленения в пяточном суставе и др.). О чем это свидетельствует? Расхождение по таким важным системным признакам должно указывать на отсутствие прямых родственных связей между веерохвостыми птицами и тероподными динозаврами вместе с археоптериксом, т.е. на их независимое происхождение.

В то же время археоптерикс — ближайший родственник манирапторных динозавров. Ведь у него сохранилась уникальная особенность тероподных динозавров, отличающая их практически от всех наземных четвероногих (в передней конечности первый, второй и третий пальцы, а у веерохвостых птиц в кисти второй, третий и четвертый); а также ряд других признаков: эктоптеригоид и субквадратная форма коракоида; отсутствие четвертого вертлуга и заметное слияние третьего вертлуга с большим на бедре; особенности строения таза с увеличенной передней и уменьшенной задней частью подвздошной кости, с узкой седалищной костью и нижним положением лобковой кости; спе-



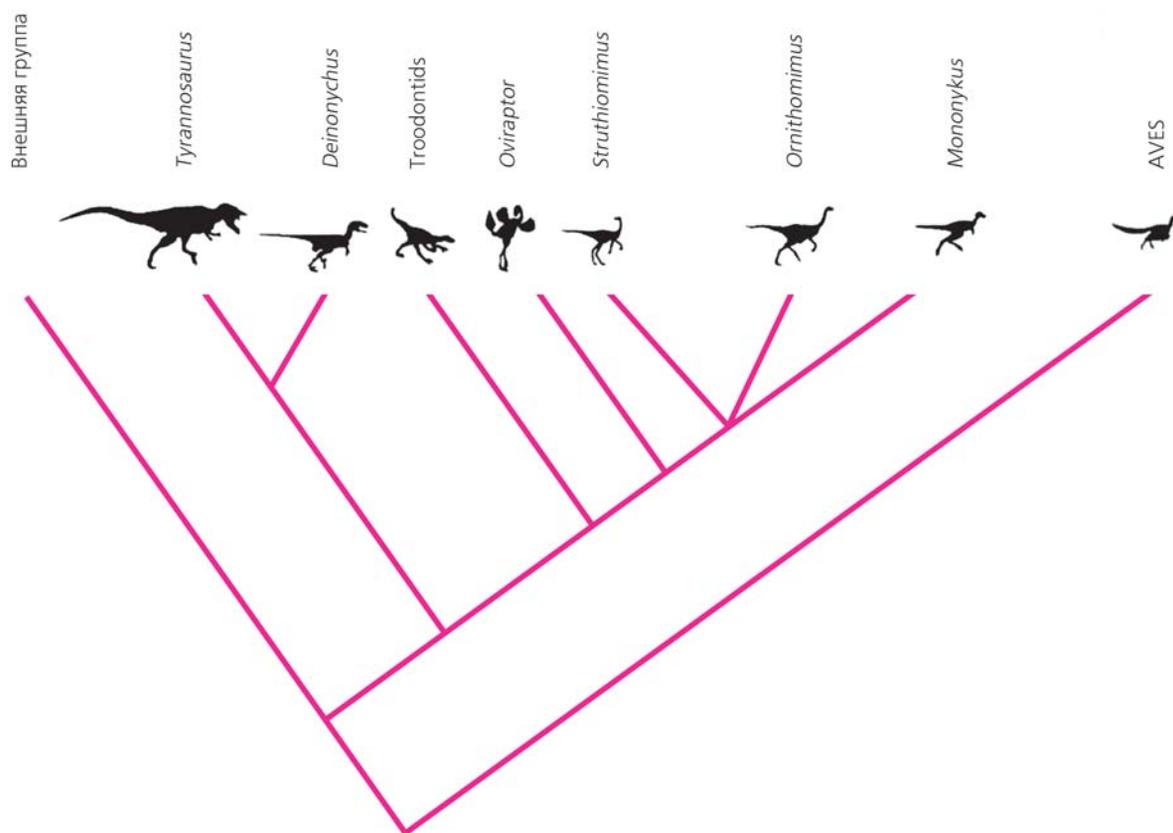
Кладограмма родственных связей среди целурозавровых хищных динозавров, в соответствии с которой птицы (археоптерикс и конфуциусорнис) находятся в сестринских отношениях с дромеозаврами и троодонтами. (По: Дж.Кларк, М.Норель и П.Маковицкий, 2002.)

циализированное строение первых хвостовых позвонков и др.). Некоторые из этих признаков (сохранение эктоптеригоида, субквадратный коракоид, пропорции подвздошной кости) следует отнести к разряду плезиоморфий (древних признаков, унаследованных от общих предков), которые филогенетическая систематика (кладистика) не учитывает при расчете кладограмм, но они свидетельствуют об отдаленном родстве. Необходимо заметить также, что обычно в наборе групп, по которым кладистика ищет родственные связи птиц и динозавров, с одной стороны, отсутствуют псевдозухии и крокодилы, а с другой — современные веерохвостые птицы. В подобной ситуации, нет ничего удивительного в том, что птицы,

которые представляют обычно только археоптерикс и энанциорнисы, оказываются в ближайших отношениях с целурозаврами.

Многие манирапторы вместе с археоптериксом (в меньшей степени другие целурозавры и даже карнозавры) демонстрируют определенное сходство с настоящими птицами по таким структурам как вилочка, трехпалая кисть со слитым и удлиненным запястьем, утоньшенная третья метакарпalia, изогнутая назад локтевая кость, удлиненная плюсна с частично слитыми элементами, укороченный второй и удлиненный четвертый пальцы на лапе, крючковидные отростки на ребрах, пуховой или перовой покров и даже летательное оперение.

Но сходство по ним теропод и веерохвостых птиц всегда различается в деталях морфологии. В то же время нет ни одной группы теропод, у которой оно прослеживалось бы по всему ряду таких признаков. Вместе большинство этих особенностей встречается только у археоптерикса и энанциорнисовых противоптиц. Последних можно считать сестринской группой к археоптериксу и венцом эволюции на пути освоения тероподами воздушной среды. Поэтому естественно считать подобное сходство не гомологичным, а обретенным конвергентно или параллельно. Неупорядоченное проявление таких признаков среди тероподных динозавров получило название орнитизации тероподных динозавров [15], под которой понима-



Кладограмма родственных отношений между тероподными динозаврами и птицами, согласно которой археоптерикс находится в кладе Aves. (По: Л.Мартин, 1997.)

ют независимое появление птичьих особенностей в различных эволюционных линиях теропод при освоении нового экологического пространства и новых пищевых ресурсов, повышение энергии жизнедеятельности.

А происхождение настоящих веерохвостых птиц? Следует признать, что оно фактически скрыто в глубине веков. Несмотря на многие новые данные последних двух десятилетий палеонтологических фактов явно недостаточно для построения достоверной гипотезы. Между прочим, непосредственные предки или сестринская группа ящеротазовых динозавров, куда входят хищные динозавры, также остаются неизвестными. Наиболее вероятно их происхождение от каких-то пермо-триасовых текодонтов. В качестве предковой группы для динозавров, кроко-

дилов и птерозавров признаются псевдозухии. Предками динозавров могли быть, скорее всего, среднетриасовые южноамериканские лагозухи, а предками птиц — эупаркерииды или орнитозухиды, известные из триасовых отложений Африки, Китая и Западной Европы.

В начале прошлого века Р.Брум и Ф.Хюне как возможного предка птиц рассматривали эупаркерию, но критиковали вероятность динозаврового происхождения птиц. Детально гипотезу разработал уже упоминавшийся нами Хейльман [12]. Сложность решения вопроса связана с неполнотой палеонтологической летописи.

Эволюционно-морфологическое направление, по которому текодонты эволюционировали на пути к веерохвостым птицам, может отражать недавно

описанный из верхнего триаса США протоавис [16, 17]. Об этом говорят ключевые преадаптации в позвоночном столбе (гетероцельные позвонки), в плечевом (подвижно сочлененные палочковидный коракоид и саблевидная лопатка) и тазовом поясах (ямки для сложных почек с внутренней стороны подвздошных костей) и черепа (большие черепная коробка и орбитальные окна). Однако большинство сторонников динозавровой гипотезы просто игнорирует протоависа при анализе происхождения птиц. Только Л.Уитмер пытался разобраться в проблеме протоависа [18], но с большинством критических замечаний в оценке строения протоависа и его значения для понимания эволюции и филогении пернатых согласиться трудно.

Таким образом, мы доказываем, что птицы могли появиться уже в позднем триасе. Эту гипотезу подтверждают некоторые косвенные палеонтологические факты. Среди них — довольно широкая представленность следов вероятных птиц из позднего триаса и нижней юры США, ЮАР, Марокко и Польши [19, 20], хотя прежде птичья принадлежность и геологический возраст поздне триасовых срезов [19] ставились под сомнение. Но в 2002 г. в верхнетриасовых отложениях Аргентины обнаружены новые следы, безусловно оставленные птицеподобными лапами мелких существ, с длиной следов всего 2—4 см [21]. Возможно, оперенность у тероподных динозавров существовала уже в ранней юре. При давно известных отпечатках лап *Apo-*

*toepus major* (Hitchcock, 1858) средних размеров теропода (длина следа 42 см) из нижнеюрских отложений штата Массачусетс, США, польский исследователь Г.Герлиньский открыл отпечатки брюха и вероятный отпечаток туловищного пуховидного оперения этого динозавра [22].

Рассматривая вопрос происхождения птиц, не следует забывать и о крокодилах. Наиболее примитивные их формы известны из верхнего триаса и нижней юры и относятся к подотряду сфенозухий, которые заметно отличаются от привычного нам облика современного крокодила мелкими размерами, легким скелетом и у многих — бипедальным способом передвижения. Но самое примечательное в их морфологии — множество черт,

общих с птицами, которое детально показал на *Sphenosuchbus acutus* А.Уокер (1972, 1990) и подробно разобрал Л.П.Татаринов (1980). Уокер придерживался гипотезы происхождения птиц от крокодилов сфенозуховой линии, но впоследствии отказался от нее. Сходство между сфенозухами и птицами выражается во многих особенностях строения черепа, особенно в строении его ушной области, плечевого пояса и в пневматизации черепа. Однако устройство пяточного сустава не позволяет выводить птиц из сфенозухий. Как бы то ни было, сходство птиц с динозаврами и крокодилами подтверждает существование у них общих предков среди псевдозухий в триасовом периоде или даже в пермском, а потому и объясняет возникновение самых неожиданных



Оригинальная схема родственных связей динозавров и птиц, демонстрирующая независимое происхождение ящерохвостых (Sauriurae) и веерохвостых (Ornithurae) пернатых. (По: Е.Н.Курочкин, 2001, с изменениями.)

ных морфологических параллелизмов, которые проявлялись в строении их скелета в последующей эволюции.

В последнее десятилетие огромный перерыв в мезозойской палеонтологической летописи птиц неожиданно заполнился новыми находками, причем сразу во всех регионах мира. Кто бы мог подумать еще совсем недавно, что появится такой массив палеонтологических фактов из отложений мелового периода по разнообразным древнейшим птицам? Китайские оперенные динозавры также стали полной неожиданностью, хотя уже давно появлялись высказывания о возможном наличии оперения у теропод.

Таким образом, множество разнообразных находок значительно расширило палеонтологическую базу для изучения происхождения птиц. Появились новые гипотезы; какие из них станут теорией, покажет будущее. Хотелось бы заметить,

что вероятность широкого распространения разнообразных птиц в раннем мелу предполагалась нами на основании первых находок их костей, следов и перьев в отложениях нижнего мела еще в начале 1980-х годов. Но тогда эти данные всерьез не принимали.

Китайские целурозавры с оперением — не единственная сенсация из нижнемеловых отложений провинции Ляонин в Китае. Там открыто множество энанциорнисовых противоптиц, новые древнейшие веерохвостые птицы, необычные конфуциусорнисы, место которых в филогении птиц вызывает споры, другие птицы неясных родственных связей, несколько примитивных млекопитающих, птерозавры рамфоринхи и птеродактиль, черепахи, костистые рыбы, множество насекомых, одни из первых цветковых растений. Весь этот комплекс называют биотой Джехоль, многие животные которой имеют древ-

ний юрский облик. Очевидно, это одна из основных причин споров о возрасте джехольских отложений. Теперь на основании абсолютных радиоактивных датировок, полученных различными методами в разных странах, принято считать их раннемеловыми с возрастом в интервале от 120 до 130 млн лет [23]. Возможно, представители юрской флоры и фауны сохранились в северо-восточном Китае как в рефугиуме, отгороженном от остального мира какими-то барьерами с поздней юры почти до конца раннего мела. Этот джехольский комплекс ископаемых животных можно было бы назвать юрским «зоопарком» в меловом периоде.

Автор очень признателен Л.П.Татариннову и В.Р.Алифанову за просмотр первой версии рукописи статьи и полезные замечания. Работа поддержана грантами РФФИ № 00-04-49348 и ведущей научной школы НШ-1840.2003.4. ■

## Литература

1. Xu Xing *et al.* // Nature. 2003. V.421. №6921. P.335—340.
2. Xu Xing *et al.* // Nature. 2000. V.408. №6813. P.705—708.
3. Czerkas S. *et al.* // The Dinosaur Museum Journal. 2002. V.1. P.97—126.
4. Prum R.O. // Nature. 2003. V.421. №6921. P.323—324.
5. Ji Qiang and Ji Shu-An // Chinese Geol. 1997. V.238. P.38—41.
6. Zhou Zhong-He *et al.* // Vertebrata Palasiatica. 2000. V.38. №10. P.241—254.
7. Norell M. *et al.* // Nature. 2002. V.416. №6876. P.36—37.
8. Padian K. and Chiappe L.M. // Biological Reviews. 1998. V.73. P.1—42.
9. Sereno P.C. // Science. 1999. V.284. №5423. P.2137—2147.
10. Forster C.A. *et al.* // Science. 1998. V.279. №5358. P.1915—1919.
11. Beebe W.H. // Zoologica. 1915. V.2. P.38—52.
12. Heilmann G. The Origin of Birds. L., 1926.
13. Paul G.S. Predatory Dinosaurs of the World. N.Y., 1988.
14. Шмальгаузен И.И. Основы сравнительной анатомии позвоночных животных. М., 1938.
15. Курзанов С.М. Авимимиды и проблема происхождения птиц. М., 1987.
16. Chatterjee S. // Paleontographica. 1999. Abt.A. Bd.254. Lfg.1—3. P.1—100.
17. Курочкин Е.Н. // Новые идеи о происхождении и ранней эволюции птиц. Достижения и проблемы орнитологии Северной Евразии на рубеже веков. Казань, 2001. С.68—96.
18. Witmer L.M. The Debate on Avian Ancestry. Mesozoic Birds. University of California Press, 2002. P.3—30.
19. Lockley M.G. *et al.* // Phil. Trans. R. Soc. London. Ser. B. 1992. V.336. P.113—134.
20. Gierliński G. // Zubia. 1996. V.14. P.79—87.
21. Melchor R.N. *et al.* // Nature. 2002. V.417. №6892. P.936—938.
22. Gierliński G. // Bulletin of the Museum of Northern Arizona. 1996. V.60. P.179—184.
23. Zhou Zhonghe *et al.* // Nature. 2003. V.421. №6925. P.807—814.

# Принцип троянского коня, или Как протозойный патоген проникает в живую клетку

Т.В. Бейер, Н.В. Свежова

*Timeo Danaos et dona ferentes*  
(Боюсь данайцев, даже дары приносящих)  
Вергилий. Энеида

Обеденный перерыв подходил к концу, когда неожиданно заговорили о находчивости греческих военачальников, придумавших деревянного коня, с помощью которого данайцы проникли в Троию. «И все же обман — классная вещь! — заметил наш молодой сотрудник. — Ведь и микроорганизмы смогли перейти к внутриклеточному паразитизму лишь благодаря тому, что “научились” попадать в живую клетку, прикинувшись пищевыми частицами, т.е. подобно данайцам с их известным троянским конем...» Смех смехом, а молодой коллега был недалек от истины.

Наша небольшая научная группа уже довольно давно интересуется выяснением путей и способов проникновения в клетку чужеродных организмов, в частности внутриклеточных паразитических простейших — кокцидий (отряд Coccidia, класс Sporozoa). Многие из них вызывают тяжелые инфекционные заболевания человека и животных (токсоплазмоз, криптоспоридиоз, саркоцистоз, изоспороз, эймериоз и др.); этим заболеваниям подвержены в первую очередь дети и молодые животные. Некоторые кокцидии (*Toxoplasma gon-*



**Тамара Владимировна Бейер**, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории цитологии одноклеточных организмов Института цитологии РАН. Область научных интересов — клеточная биология, внутриклеточный паразитизм, оппортунистические инфекции.



**Надежда Викторовна Свежова**, кандидат биологических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Занимается изучением паразито-хозяйнических отношений при криптоспоридиозе животных.

*dii*, *Cryptosporidium parvum* и др.) считаются условно-патогенными организмами, а вызываемые ими инфекции — оппортунистическими (от англ. opportunity — возможность). Проявляются они у заразившихся людей спустя годы при нарушении иммунной системы

(например, при инфицировании вирусом иммунодефицита человека). Есть данные, что антитела к *T.gondii* имеются почти у трети населения земного шара [1], а у 40% больных параллельно со СПИДом развивается токсоплазмозный энцефалит, при этом уровень смертности

© Бейер Т.В., Свежова Н.В., 2004

среди таких людей достигает 10–30% [2].

Ранее нами была высказана гипотеза, которая впоследствии подтвердилась, согласно которой в жизненном цикле оппортунистического патогена есть латентные (скрытые) стадии, позволяющие ему выживать в организме хозяина с нормальной иммунной системой в течение долгого времени. Такие патогены, как *T.gondii* и *Isospora belli* способны длительно сохраняться внутри защитных образований (цист) в тканях головного мозга или мышц, куда почти не проникают антитела. Однако в условиях иммунодефицита, когда в крови хозяина количество Т4-лимфоцитов резко снижается, ранее покоившийся паразит получает возможность бесконтрольно размножаться [3]. Таким образом,

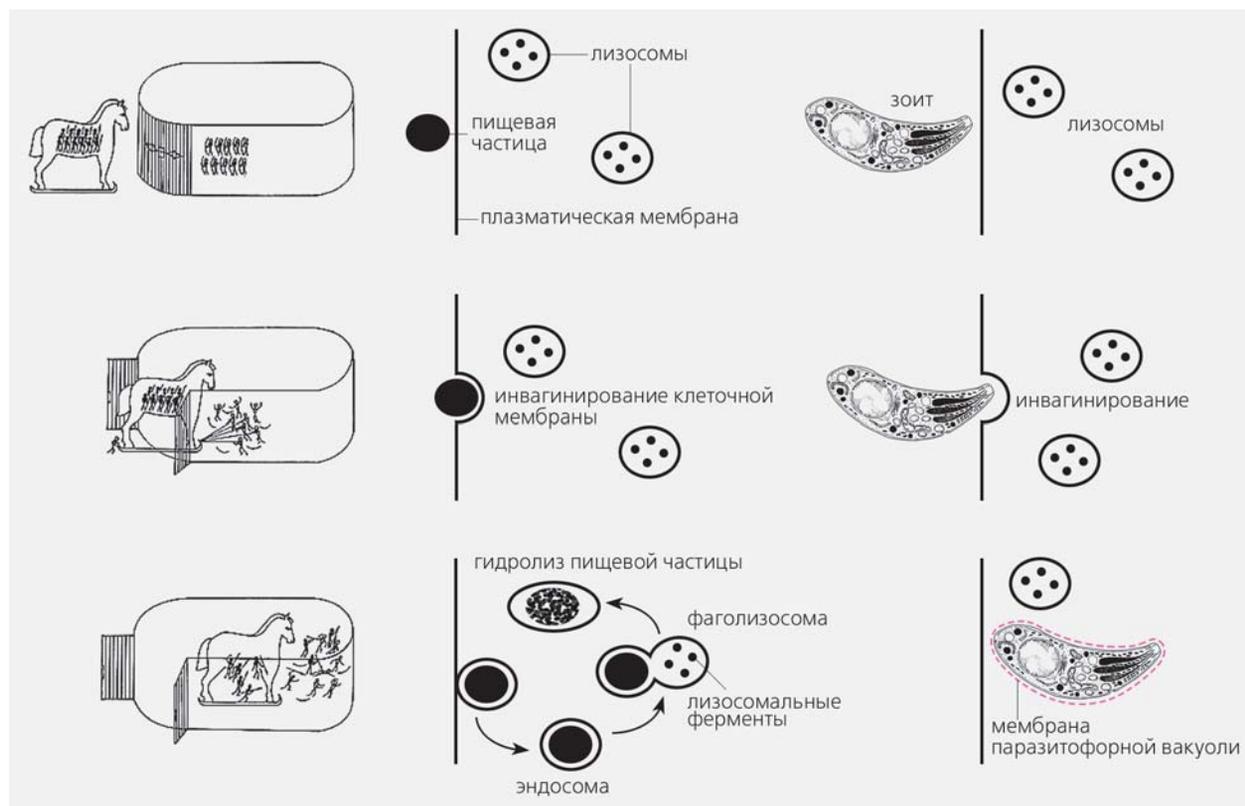
человек может быть инфицирован *T.gondii* в детстве и всю жизнь словно сидит на неразорвавшейся бомбе, а спустя многие годы при наступлении иммунодефицита вдруг серьезно заболевает и даже может погибнуть от патогена, давно покоившегося в его организме. Ясно, что для успешной борьбы со столь опасным недугом необходимо понять суть механизмов клеточного взаимодействия двух эукариотных систем — одноклеточного паразита и заключающей его клетки многоклеточного организма.

\* \* \*

Паразитизм — широко распространенное биологическое явление, при котором один организм (паразит) живет и питается за счет другого (хозяина). Особенность кокцидий состоит

в том, что все кардинальные процессы их жизнедеятельности совершаются только внутри живой клетки, которая представляет собой уникальное, хорошо защищенное образование. Снаружи клетка покрыта плазматической мембраной со встроенными в нее многочисленными рецепторами, способными распознавать не только специфические группировки чужеродных молекул, но и целые клетки, и сразу передавать внутрь полученные сигналы. Через такой плотный фильтр, каковым, например, является наружный покров энтероцита кишечника, не могут пройти даже бактерии, не говоря уже о значительно более крупных паразитических простейших [4].

К важнейшим внутриклеточным защитным механизмам относятся окислительный взрыв



Схемы, отражающие мифологическое событие и биологические явления. Зоиты кокцидий (правая колонка) проникают в живую клетку подобно пищевым частицам (средняя колонка), что очень напоминает знаменитую историю о троянском коне. Оказавшись в клетке, зоиты кокцидий постепенно меняют химический состав инвагинированной плазматической мембраны, что делает ее неузнаваемой для лизосом клетки хозяина. Пищевые частицы, проникнув в клетку, как известно, подвергаются гидролизу лизосомальными ферментами.

и лизосомальное переваривание. В первом случае микроорганизмы подвергаются губительному действию потенциально токсичных кислородных метаболитов (супероксидов, перекиси водорода, гидроксильных радикалов); во втором — они гидролизуются содержащимися в лизосомах ферментами [5, 6]. Но еще раньше, до проникновения в клетку, во внеклеточном пространстве паразит сталкивается с уникальной защитной системой в виде каскада комплемента, которая дополняет и усиливает действие антител. Эта система служит важным звеном антипаразитарной защиты в организме хозяина [7].

Таким образом, живая клетка подобна неприступной крепости, вход в которую хорошо защищен от неприятеля со всех сторон. И для того, чтобы войти в клетку, паразит в ходе эволюции должен был научиться избегать действия защитных сил хозяина, т.е. в какой-то степени уметь ее обмануть, как это сделали когда-то данайцы, спрятавшись в чреве деревянного коня.

Любая клетка живет за счет поступления в нее питательных веществ, и чужеродный организм может в нее попасть в обличье пищевой частицы. Проникновение пищевой частицы начинается с вдавливания внутрь (инвагинирования) наружной плазматической мембраны, которая постепенно обволакивает эту частицу, пока та не оказывается внутри мембранного пузырька (эндосомы). И с этого момента захваченная частица обречена на гибель. В мембране пузырька начинает действовать протонный насос, что приводит к закислению внутренней среды пузырька до pH 3.5—5.0 (лизосомальные ферменты активны только в кислой среде). Затем мембрана эндосомы сливается с мембранами лизосом, в результате чего ферменты и пищевые частицы оказываются в одном пузырьке — вторичной лизосоме (фаголи-

зосоме), где пищевые частицы перевариваются.

Проникновение микроорганизмов под видом пищевой частицы (по принципу троянского коня) оказывается наиболее щадящим способом внедрения в живую клетку. Важно, что при этом не происходит разрыва клеточной мембраны, благодаря чему зараженная клетка продолжает нормально функционировать, обеспечивая оптимальные условия для роста и размножения паразита. Такой путь вхождения в клетку фактически повторяет (рекапитулирует) предковый признак клеток позвоночных — захват пищевых частиц и их внутриклеточное переваривание. Этот признак сохранился до наших дней только в клетках иммунной системы позвоночных — в макрофагах, нейтрофилах, эозинофилах.

Подобно пищевым частицам, многие микроорганизмы начинают проникновение в клетку с инвагинирования ее плазматической мембраны, и по мере продвижения внутрь покрываются этой мембраной до тех пор, пока не окажутся в пространстве мембранного пузырька, или паразитофорной вакуоли.

Казалось бы, «плененный» паразит подобно пищевой частице должен был бы стать жертвой лизосомального переваривания. Однако этого не происходит, так как еще в ходе проникновения в клетку и по его завершении зоиты кокцидий укрепляют стенку завоеванного жилища, т.е. паразитофорной вакуоли. Качественный и количественный состав белков и липидов мембраны этой вакуоли претерпевает значительные изменения, включающие, например, резкое сокращение числа интегральных белковых молекул — внутримембранных частиц, или избирательное удаление некоторых белков плазматической мембраны (FcR, CD44), участвующих в презентации антигенов. В результате этого измененная мембрана становится

неузнаваемой для лизосом, а паразит, заключенный внутри паразитофорной вакуоли, — недоступным для гидролитических ферментов [8].

В последнее время было выявлено огромное разнообразие паразитофорных вакуолей, что можно объяснить существующими различиями в стратегии разных паразитических простейших (микроспоридий, жгутиконосцев, споровиков), используемой ими при проникновении в клетку и в ходе дальнейшего внутриклеточного развития. Но что интересно — проникновение по принципу «троянского коня» характерно только для споровиков [9, 10]. К сожалению, структура паразитофорных вакуолей у разных кокцидий изучена пока недостаточно полно для того, чтобы можно было сформулировать общие закономерности формирования паразитофорных вакуолей, сложившиеся в ходе эволюции кокцидий в целом. Наилучшие результаты, с применением современных методов биохимии и молекулярной биологии, были получены для цистообразующих кокцидий и, прежде всего *T.gondii* [11, 12].

Токсоплазма развивается при участии двух хозяев — промежуточного и окончательного; такой тип жизненного цикла называется гетероксенным. Помимо человека, промежуточными хозяевами для *T.gondii* служат еще 350 видов млекопитающих, птиц и рептилий, тогда как окончательными хозяевами — лишь представители семейства кошачьих [1].

В промежуточном хозяине паразит размножается только бесполом путем, который включает две стадии развития: тахизоиты, которые быстро размножаются (пролиферируют) практически во всех типах клеток и тканей, и медленно пролиферирующие брадизоиты, развивающиеся внутри тканевых цист в головном мозге или мышцах, где, напомним, иммунный надзор слабее. Важно подчеркнуть,

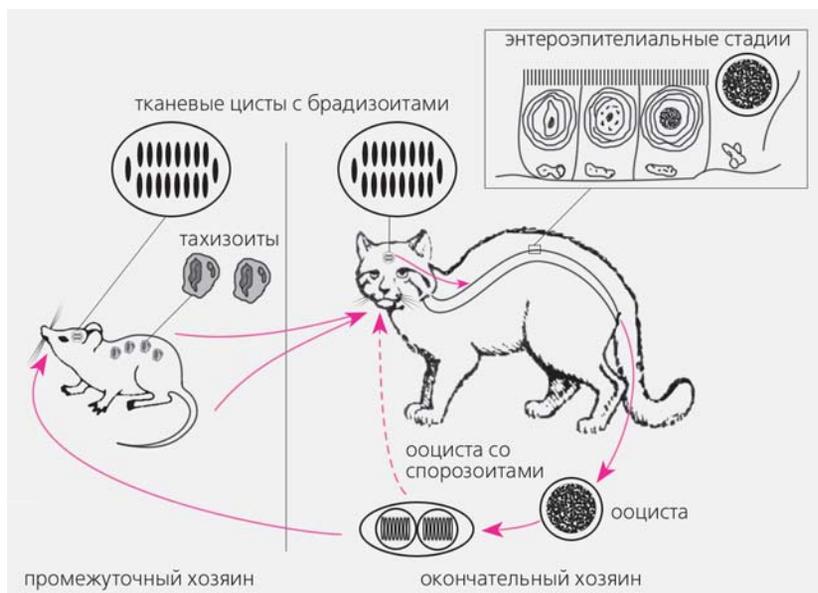


Схема жизненного цикла *Toxoplasma gondii*.

что токсоплазма никогда не развивается в клетках эпителия кишечника (энтероцитах) промежуточного хозяина.

В отличие от промежуточного, в окончательном хозяине этот патоген паразитирует преимущественно в клетках кишечного эпителия, где бесполое размножение сменяется половым процессом с образованием гамет. Копуляция гамет приводит к образованию зиготы (ооцисты). Из кишечника кошки ооцисты выделяются во внешнюю среду, и здесь внутри каждой ооцисты формируется по восемь инвазивных спорозоитов. И вряд ли сегодня на нашей планете найдется место, не загрязненное ооцистами *T.gondii*!

Промежуточные хозяева заражаются друг от друга при съедании тканей (внимание, любители бифштекса с кровью), содержащих цисты с брადизоитами, а окончательные — при поедании инфицированных промежуточных хозяев (например, грызунов и птиц). И те, и другие хозяева могут случайно проглотить ооцисты с загрязненных предметов, а у млекопитающих возбудитель передается еще

и от матери к плоду, нередко вызывая дефекты развития ребенка (важно знать будущим матерям).

Несмотря на то, что жизненный цикл *T.gondii* был расшифрован более 30 лет назад, до сих пор нет ответа, по крайней мере, на два вопроса. Все еще остается загадкой, почему столь «неразборчивый» в выборе хозяина и места локализации патоген не развивается в клетках эпителия кишечника промежуточного хозяина? И почему энтероэпителиальное развитие паразита и образование ооцист возможно только в организме кошачьих?

Для ответа на эти вопросы мы впервые в качестве критерия оценки происходящих событий использовали структуру паразитофорной вакуоли и получили неожиданные результаты. Оказалось, что в процессе эволюции кокцидий изменяется не только морфо-функциональная организация самих паразитов, но и структура заключающей их паразитофорной вакуоли. Последнее обусловлено возникающими различиями в биохимическом составе секреторных гранул у разных бесполок стадий

жизненного цикла (спорозоитов, тахизоитов, брადизоитов). И именно это в итоге определяет роль каждой отдельной стадии в осуществлении жизненного цикла паразита при его усложнении (т.е. при переходе к гетероксенности).

Способностью проникать в клетку по принципу троянского коня обладают только бесполое стадии развития кокцидий — спорозоиты или мерозоиты (в том числе тахи- и брადизоиты *T.gondii*), обозначаемые единым термином — зоиты. И такой способ проникновения не имеет аналогов среди про- и эукариотных микроорганизмов. Зоиты кокцидий — типичные эукариотные клетки веретенообразной формы размером около 5–7×2–3 мкм, которые наряду с характерными органеллами содержат дополнительный уникальный комплекс цитоплазматических структур: микронемы, роптрии и плотные гранулы. Выяснилось, что присутствие этих секреторных органелл в зоитах *T.gondii* имеет прямое отношение к процессу внедрения паразита в клетку [13].

Секреторные белки синтезируются в шероховатой эндоплазматической сети, после чего проходят через аппарат Гольджи и попадают в соответствующие органеллы [14]. Последовательный экзоцитоз содержимого микронем, роптрий и плотных гранул осуществляется в апикальной части зоита. Сначала выделяются белки микронем, обеспечивая прикрепление паразита к поверхности клетки. Затем происходит встраивание белков и липидов роптрий и белков микронем в инвагинированную плазматическую мембрану, т.е. в мембрану будущей паразитофорной вакуоли. Содержимое плотных гранул секретируется в пространство паразитофорной вакуоли уже после того, как паразит оказывается в клетке хозяина, и далее участвует в поддержании внутренней среды вакуоли.

В подавляющем большинстве случаев внутриклеточные стадии развития кокцидий окружены одномембранной паразитофорной вакуолью, происходящей от плазматической мембраны зараженной клетки, что характерно и для тахизоитов *T.gondii*. В отличие от этого, энтероэпителиальные стадии в кишечнике кошки окружены трехмембранной паразитофорной вакуолью. До последнего времени в мировой литературе подобным различиям не придавали какого-либо значения, и все сводилось лишь к простой констатации факта. Сравнительный анализ имеющихся данных показал, что трехмембранная паразитофорная вакуоль заключает внутри себя энтероэпителиальные стадии как *T.gondii*, так и других гетероксенных кокцидий (*Cystoisospora*, *Sarcocystis*, *Hammondia*, *Frenkelia*), у которых роль окончательного хозяина выполняет хищное животное. А у гомоксенных (однохозяинных) кокцидий рода *Eimeria*, паразитирующих в кишечнике нехищных хозяев, энтероэпителиальные стадии всегда окружены только одномембранной паразитофорной вакуолью.

Таким образом, возникновение трехмембранной паразитофорной вакуоли вокруг эндогенных стадий паразита безусловно коррелирует с эволюцией гомоксенных жизненных циклов кишечных кокцидий в сторону гетероксенности, т.е. приобретения паразитом двух хозяев — промежуточного и окончательного, и возникновением межхозяйных отношений по принципу «жертва — хищник». В промежуточном хозяине токсоплазма развивается в клетках практически всех внутренних органов, за исключением энтероцитов кишечника, а в окончательном хозяине развитие паразита становится преимущественно энтероэпителиальным.

Оказалось, что по количеству и составу белкового секрета плотных гранул и роптрий тахизоиты *T. gondii* отличаются

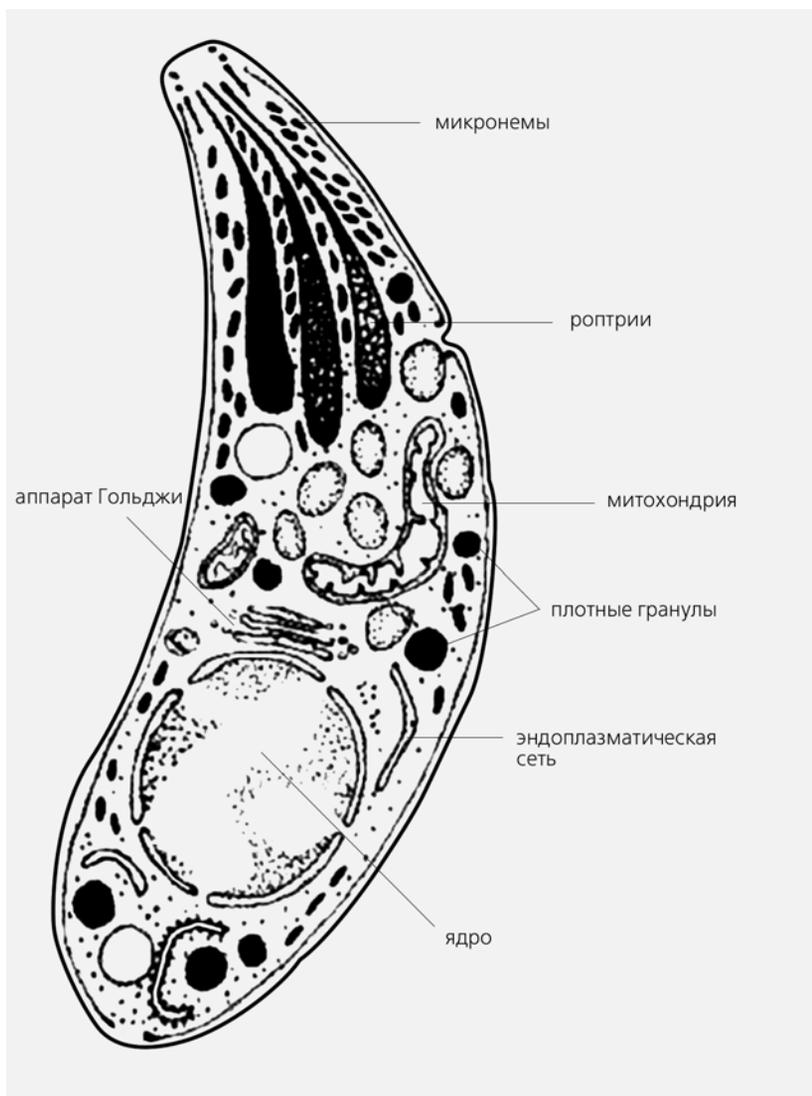


Схема строения зонта кокцидий.

от бразидоитов. И указанные различия во многом определяют структуру паразитофорной вакуоли, заключающей эти стадии [15].

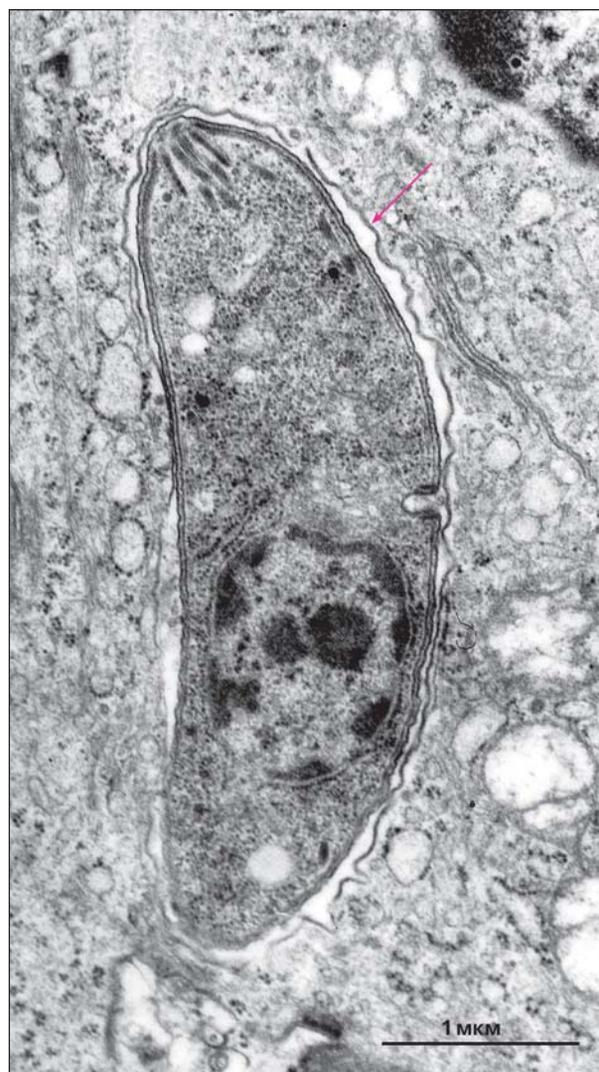
Исследования показали, что тахизоиты *T.gondii* с высоким содержанием секрета роптрий и плотных гранул стимулируют образование только одномембранной паразитофорной вакуоли, тогда как бразидоиты, в которых такого секрета в несколько раз меньше, развиваются внутри трехмембранной паразитофорной вакуоли.

На первый взгляд все должно быть совсем наоборот. Однако

следует учесть, что в основе образования обоих типов паразитофорных вакуолей лежит одна и та же одиночная инвагинированная плазматическая мембрана, а трехмембранная «стенка» формируется вторично, за счет присоединения к исходной мембране еще двух мембран цистерны эндоплазматической сети. Поэтому само прикрепление мембран зависит не от количества секрета у зонта, а от качества, т.е. наличия определенного набора специфических белков. Один из них, ROP2, был недавно выявлен в роптриях бразидоитов *T.gondii* [16].



Электроннограммы зоитов *Toxoplasma gondii*. В макрофаге мыши (справа, D.J.P.Fergusson) зоит окружен одномембранной паразитофорной вакуолью (показано стрелкой), а в энтероците кишечника кошки (слева, E.Scholtyssek, J.P.Overdulve) — трехмембранной паразитофорной вакуолью (отмечено стрелками).



Итак, развитие *T.gondii* в кишечнике кошки возможно после проникновения в энтероциты только тех стадий, которые стимулируют формирование не одно-, а трехмембранной паразитофорной вакуоли, и такими стадиями оказываются бладизоиты, но не тахизоиты или спорозоиты. И в этом состоит принципиальное различие между гетероксенными цистообразующими кокцидиями и гомоксенными кокцидиями рода *Eimeria*. У всех видов *Eimeria* развитие в кишечнике хозяина всегда начинается со стадии спорозоита, и все стадии окружены одномембранной паразитофорной вакуолью. В отличие от этого ни спорозоиты, ни та-

хизоиты *Toxoplasma* не могут развиваться в энтероцитах кишечника из-за их неспособности сформировать вокруг себя трехмембранную паразитофорную вакуоль.

Высокое содержание белков плотных гранул и роптрий в тахизоитах может рассматриваться как эволюционный запрет только на развитие этих стадий в энтероцитах кишечника хозяина, но не на возможность проникновения в них. Оказалось, что тахизоиты могут активно проникать в энтероциты и так же легко их покидать, не формируя при этом никаких вакуолей [17]. Создается впечатление, что, внедряясь в клетку, тахизоит мгновенно «оценивает» не

только ее пригодность или непригодность для своего дальнейшего развития, но собственную способность или неспособность обосноваться в такой клетке.

Молекулярная организация бладизоитов также накладывает безусловное ограничение на выбор ими клеток для своего последующего развития, сводя этот выбор фактически до одного-единственного варианта — энтероцитов кишечника кошачьих.

Можно предположить, что у кокцидий с гетероксенными жизненными циклами главная «ответственность» за выживание паразита как вида ложится на окончательного хозяина-хищника, поскольку именно

в нем совершается половая фаза развития паразита, включающая обмен генетической информацией между разными штаммами, а также образуются устойчивые стадии (ооцисты), обеспечивающие распространение патогена во внешней среде. С этой «ответственностью», возможно, отчасти связано и хорошо известное практически бессимптомное течение токсоплазмоза у кошачьих [18]. В отличие от этого,

для многочисленных промежуточных хозяев *T.gondii*, в которых происходит только умножение бесполой стадии, характерна достаточно высокая смертность.

Все еще остается нерешенной вторая из двух загадок: почему из всего множества хищников токсоплазма «выбрала» в качестве окончательных хозяев представителей только семейства кошачьих? А почему не

псовых или куньих, как у других цистообразующих кокцидий? Пока еще этого никто не знает. Надеемся, что вскоре нам удастся раскрыть и эту тайну. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 95-04-11068, 01-04-49322, 02-04-49338, 02-04-06777, 03-04-06525.**

## Литература

1. Frenkel J.K. // Ztschr. Parasitenk. 1974. № 45. P. 125—162.
2. Tenter A.M., Heckeroth A.R., Weiss L.M. // Int. J. Parasitol. 2000. № 30. P. 1217—1258.
3. Бейер Т.В. Клетка в клетке, или «Бомба» замедленного действия. // Природа. 2000. № 7. С. 13—19.
4. Уголев А.М. Эволюция пищеварения и принципы эволюции функций: элементы современного функционализа. Л., 1967.
5. Mauel J. // Immunology. 1982. № 161. P. 392—400.
6. Klebanoff S.J., Locksley R.M., Jong E.C., Rosen H. Oxidative response of phagocytes to parasite invasion. Cytopathology of parasitic diseases. Ciba Found. Symp. London, 1983. № 99. P. 92—112.
7. Hall B.F., Joiner K.A. // Parasitol. Today. 1991. № 7. P. A22—A27.
8. Mordue D., Hakansson S., Niesman I., Sibley D. // Exper. Parasitol. 1999. № 92. P. 87—99.
9. Beyer T.V., Svezhova N.V., Radchenko A.I., Sidorenko N.V. // Cell Biol. Intern. 2002. № 26. P. 861—871.
10. Бейер Т.В., Свежова Н.В., Радченко А.И., Сидоренко Н.В. // Цитология. 2003. Т. 45. № 4. P. 339—356.
11. Бейер Т.В. Метаболизм *Toxoplasma gondii*. Токсоплазмиды // Протозоология. Вып. 4. Л., 1979. С. 49—62.
12. Бейер Т.В. Клеточная биология споровиков — возбудителей протозойных болезней животных и человека. Л., 1989.
13. Dubremetz J.F. // Trends Microbiol. 1998. № 6. P. 27—36.
14. Hoppe H.C., Ngo H.M., Yang M., Joiner K.A. // Nature Cell Biol. 2000. № 2. P. 449—456.
15. Fergusson D.J.P. // J. Protozool. Res. 1999. № 9. P. 141—151.
16. Sinai A.P., Joiner K.A. // J. Cell Biol. 2001. № 154. P. 95—105.
17. Speer C.A., Dubey J.P. // Parasitology. 1997. № 116. P. 35—42.
18. Dubey J.P. // Feline Pract. 1986. № 16. P. 12—45.

По наблюдениям биологов, проводивших многократные подводные кино съемки самцов моржей (*Odobenus rosmarus*), они предпочитают отыскивать в песчаном дне съедобных моллюсков правой передней ластой. Анатомические исследования показали, что правая лапа у моржей более крупная. Sciences et Avenir. 2003. №682. P.22 (Франция).

Разработаны новые методы испытаний фармацевтических средств, щадящие подопытных животных. До сих пор исследо-

вания медикаментов, которые могут вызвать у пациентов повышение температуры и другие неблагоприятные явления, велись *in vivo*. Теперь их можно проводить *in vitro* — по шести тестам эритроцитов крови человека. Эта методика поможет ежегодно сохранять жизнь 200 тыс. подопытных кроликов, к тому же она менее затратна, чем традиционная. Уже 200 лабораторий в мире испытывают лекарственные препараты по-новому. Terre Sauvage. 2003. №182. P.18 (Франция).

Опрос телезрителей канала BBC World поставил Исаака Ньютона в ранг «наиболее популярной выдающейся личности Британии». Номинированный среди 100 великих фигур британской истории, он оставил позади себя Уинстона Черчилля, на долю которого пришлось менее 17% респондентов, и даже леди Диану, занявшую третью позицию с 13%. В пятерку выдающихся личностей вошли Уильям Шекспир и Чарльз Дарвин. Sciences et Avenir. 2003. №680. P.11 (Франция).

Короткие

# Замечательные качества углеродных нанотрубок

И.В.Золотухин, Ю.Е.Калинин

В последние годы в физике конденсированного состояния все более популярными становятся объекты нанометрового масштаба. Это нанокристаллические ферромагнитные сплавы [1], фуллерены [2], углеродные нанотрубки [3], нанокомпозиты [4], тонкопленочные многослойные наноструктуры [5] и т.д. Подобные системы интересны сочетанием ряда параметров, недостижимых для традиционных моно- и поликристаллических структур; не менее важно, что в них начинают работать новые физические явления. Было установлено: уменьшение размера кристалликов в материале (в первую очередь в металлах) может приводить к существенному изменению их свойств. Изменения наблюдаются, когда средний размер кристаллических зерен не превышает 100 нм, и наиболее заметны при размере зерен менее 10 нм (1 нм =  $10^{-9}$  м). Сформированные из таких частиц или кластеров наноструктурированные твердые тела привлекательны как для изучения фундаментальных свойств, так и для использования в новых технологиях, например, при разработке информационных сред с большой плотностью записи. Все это позволяет говорить



*Иван Васильевич Золотухин, доктор технических наук, профессор кафедры физики твердого тела Воронежского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ. Занимается изучением фуллеренов, углеродных нанотрубок, фракталов и нанокомпозитов.*



*Юрий Егорович Калинин, доктор физико-математических наук, заведующий той же кафедрой. Область научных интересов — физико-химические основы создания новых материалов, физика твердых наноструктур.*

о рождении новой отрасли — нанотехнологии [6].

## Трубки, свитки, матрешки...

Особое место среди наноструктурированных твердых тел занимают углеродные нанотрубки, открытые совсем недавно. В 1991 г. японский исследователь С.Иджима, рассматривая

в электронном микроскопе сажу, полученную в результате распыления графита в плазме электрической дуги, обнаружил тонкие протяженные нити — цилиндрические структуры диаметром от одного до нескольких нанометров и длиной до нескольких микрометров. Они состояли из одного или нескольких свернутых в трубку гексагональных графитовых слоев, торцы которых закрывались по-

лусферической головкой. Получив название «углеродные нанотрубки», эти объекты с тех пор находятся в фокусе внимания мировой научной и инженерной общественности благодаря целому ряду необычных физических свойств. К числу последних относится, прежде всего, удивительная прочность в сочетании с высокими значениями упругой деформации, позволяющая получать сверхпрочные композиционные материалы. Совсем необычны электронные свойства. С одной стороны, есть трубки с хорошей электронной проводимостью, превышающей таковую для признанных проводников (Cu, Ag), с другой стороны, большинство трубок — это полупроводники с шириной запрещенной зоны от 0.1 до 2 эВ. Управляя их зонной структурой, можно создать различные электронные приборы. В частности, появляется реальная перспектива разработать запоминающие устройства с плотностью записи до  $10^{14}$  бит/см<sup>2</sup>. Одно из самых замечательных свойств — связь между геометрической структурой нанотрубки и ее электронными характеристиками, которую можно предсказать на основе квантово-химических расчетов [7]. Угол ориентации графитовой плоскости относительно оси трубки определяет, какой проводимостью она будет обладать: металлической или полупроводниковой. В последнем случае ширина запрещенной зоны задается геометрическими параметрами — хиральностью (углом скручивания) и диаметром нанотрубки. Налицо возможность создания новых электронных приборов с рекордно малыми размерами.

Еще одно достоинство нанотрубок связано с холодной эмиссией электронов, которая возникает при приложении вдоль оси трубки электрического поля. Напряженность поля в окрестности верхней части в сотни раз превышает ту, что существует в объеме. Это приво-

дит к аномально высоким значениям тока эмиссии при сравнительно низком внешнем напряжении и позволяет использовать нанотрубные макроскопические системы в качестве холодных эмиссионных катодов.

Не менее важно, что нанотрубки имеют аномально высокую удельную поверхность, поскольку вся масса сосредоточена в поверхностном слое. Кроме того, расстояние между графитовыми слоями в многослойных системах ( $\approx 0.34$  нм) оказывается достаточным, чтобы некоторые вещества в атомарном виде (например, молекулы H<sub>2</sub>) могли располагаться в межстенном пространстве. Данное пространство (в совокупности с внутренними каналами и даже внешней поверхностью) образует уникальную емкость для хранения газообразных, жидких и даже твердых веществ. (При физической адсорбции вещества на внутренней и внешней поверхности трубки плотность нового слоя может быть близка к плотности вещества в конденсированном состоянии.) Таким образом, с одной стороны, трубки рассматриваются как емкость, в которой можно хранить вещества, не пользуясь привычными нам сосудами с толстыми стенками или оболочками для хранения агрессивных сред. С другой стороны, внедренные элементы модифицируют свойства самих трубок, позволяя создавать разнообразные гетероструктуры на их основе [7].

Как уже понял читатель, углеродные нанотрубки бывают однослойными и многослойными. Нанотрубки первого типа могут быть получены в виде одномерной структуры в результате свертывания графитовой поверхности в трубку (рис.1) [8]. Диаметр трубки и угол свертывания (или шаг свертывания) обычно характеризуются вектором свертывания  $\mathbf{C} = n\mathbf{a}_1 + m\mathbf{a}_2 \equiv (n, m)$ , кристаллографическим аналогом элементарной ячейки для двумерного графитового

кусок нанотрубки. Здесь  $\mathbf{a}_1$  и  $\mathbf{a}_2$  — базисные векторы графитовой гексагональной ячейки, а  $n$  и  $m$  — целые числа. Свертывание производится так, чтобы начало и конец вектора  $\mathbf{C}$  совместились. В пределе нехиральных случаев свертывание происходит по линии «зигзаг» (при  $m=0$ ) и по линии «ковшик с ручкой» (ее еще называют «подлокотник кресла» — «armchair») при  $m=n$ . Эти направления на рисунке изображены пунктирными линиями. Вектор трансляции  $\mathbf{T}$  вдоль продольной оси нанотрубки перпендикулярен  $\mathbf{C}$ , его величина показывает, на каком расстоянии вдоль оси

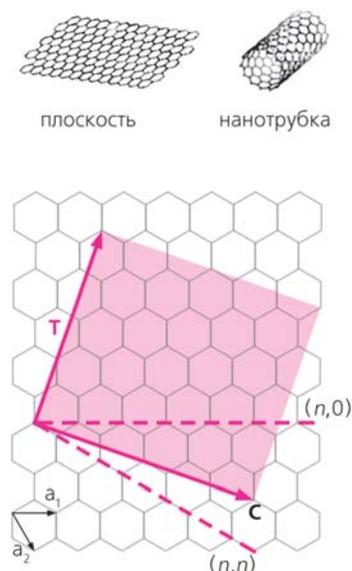


Рис. 1. Схематическое представление графитовой плоскости, иллюстрирующее решеточные векторы  $\mathbf{a}_1$  и  $\mathbf{a}_2$  и вектор свертывания  $\mathbf{C} = n\mathbf{a}_1 + m\mathbf{a}_2$ . Предельные нехиральные случаи: зигзаг  $(n, 0)$  и ковшик с ручкой  $(n, n)$  показаны пунктирными линиями. Вектор трансляции  $\mathbf{T}$ , направленный вдоль оси нанотрубки, определяет одномерную единичную ячейку. Площадь, закрашенная цветом, представляет собой элементарную ячейку, образуемую  $\mathbf{T}$  и  $\mathbf{C}$ . Диаграмма построена для  $(n, m) = (4, 2)$ .

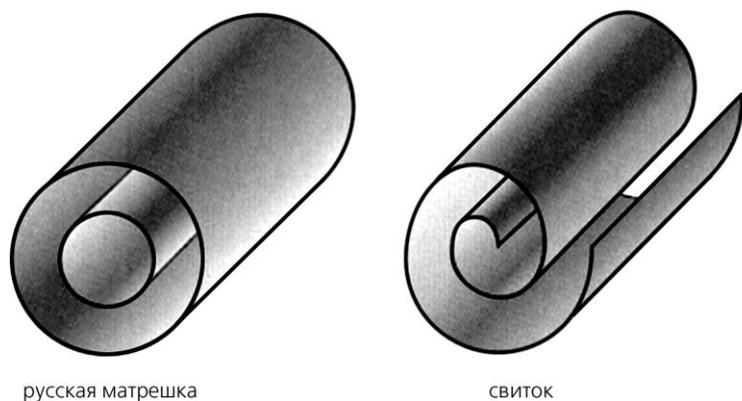


Рис.2. Модели поперечного сечения многослойных нанотрубок.

структура воспроизводится. Площадь свертывания, заключенная между **T** и **C** (закрашена цветом), соответствует единичному кусочку нанотрубки, который многократно повторяется вдоль продольной оси.

Индексы хиральности ( $m, n$ ) определяют диаметр  $D$  однослойной нанотрубки

$$D = \sqrt{m^2 + n^2 + mn} \frac{\sqrt{3} d_0}{\pi}, \quad (1)$$

где  $d_0 = 0.142$  нм — расстояние между соседними атомами углерода в гексагональной сетке графитовой плоскости. Таким образом, зная  $D$ , можно найти хиральность (соотношение  $m$  и  $n$ ). Между индексами хиральности ( $m, n$ ) и углом свертывания  $\alpha$  существует связь в виде

$$\sin \alpha = \frac{3m}{2\sqrt{n^2 + m^2 + mn}}. \quad (2)$$

Геометрия свертывания задает структуру углеродных нанотрубок — расстояние между атомами и, соответственно, силу связи между атомами. Расчеты электронной зонной структуры показывают, что как раз от индексов ( $n, m$ ) зависит, будет проводимость системы металлической или полупроводниковой.

Минимальный диаметр трубки близок к 0.4 нм, что соответствует хиральностям (3, 3),

(5, 0), (4, 2). К сожалению, объекты такого диаметра наименее стабильны. Из однослойных самой стабильной оказалась нанотрубка с индексами хиральности (10, 10); ее диаметр равен 1.36 нм.

Многослойные нанотрубки отличаются от однослойных большим разнообразием форм и конфигураций. Поперечная структура у них имеет две разновидности, рис.2 [9]. Первую назвали русской матрешкой: она представляет собой коаксиально вложенные друг в друга однослойные цилиндрические нанотрубки. Вторая напоминает скатанный рулон или свиток. Для рассмотренных структур среднее расстояние между соседними слоями, как и в графите, составляет 0.34 нм.

### Как их получают

Самый распространенный метод получения углеродных нанотрубок — синтез в плазме дугового разряда между графитовыми электродами в атмосфере гелия. Типичная схема электродуговой установки для изготовления материала, содержащего нанотрубки и фуллерены, а также другие углеродные образования, показана на рис.3. Дуговой разряд возникает и «горит» в камере с охлаждаемыми водой

стенками при давлении буферного газа (гелий или аргон) порядка 500 Торр. Обычно межэлектродное расстояние равно 1–2 мм; оно устанавливается автоматически. Чтобы получить максимальное количество нанотрубок, ток дуги должен быть 65–75 А, напряжение — 20–22 В, температура электронной плазмы — порядка 4000 К. В этих условиях графитовый анод интенсивно испаряется, поставляя отдельные атомы или пары атомов углерода, из которых на катоде или на охлажденных водой стенках камеры и формируются углеродные нанотрубки. В большинстве случаев на катоде образуется твердый депозит-осадок макроскопического размера (в виде плоского пятна диаметром 11–12 мм и толщиной до 1–1.5 мм). Он состоит из наносвязок — нитей длиной 1–3 мкм и диаметром 20–60 нм, содержащих 100–150 уложенных в гексагональную упаковку однослойных или многослойных нанотрубок. Такие связки напоминают связки круглых бревен, которые перевозят на лесовозах, или сплавляющиеся плоские плоты из бревен. Нити наносвязок и отдельные нанотрубки часто образуют беспорядочную (а иногда и упорядоченную) сеть, похожую на паутину. Пространство этой паутины заполнено другими компонентами частиц углерода; поскольку электронная плазма дуги неоднородна, не весь графит идет на строительство нанотрубок. Из большей части графитового анода образуются различные наночастицы или даже аморфный углерод, которые можно назвать общим словом — сажа.

Чтобы освободиться от других углеродных образований, депозит подвергают ультразвуковой обработке в какой-либо жидкости: этаноле, толуоле, дихлорэтаноле и других неполярных растворителях. В результате диспергации можно получить как отдельные нанотрубки, так и нерасщепленные наносвязки. Для отделения сажи раствор по-

сле дисперсии заливают в центрифугу. То, что остается в жидкости, и есть раствор, содержащий нанотрубки или наносвязки, которые затем используются для исследования и практического использования в нанотехнологии.

Существенные достижения в технологии получения нанотрубок связаны с использованием процесса каталитического разложения углеводородов. На рис.4 представлена схема проведения такого процесса. В качестве катализатора используется мелкодисперсный металлический порошок, который засыпается в керамический тигель, расположенный в кварцевой трубке. Последняя, в свою очередь, помещается в нагревательное устройство, позволяющее поддерживать регулируемую температуру в области от 700 до 1000°C. По кварцевой трубке продувают смесь газообразного углеводорода и буферного газа. Типичный состав смеси  $C_2H_2 : N_2$  в отношении 1:10. Процесс может продолжаться от нескольких минут до нескольких часов. На поверхности катализатора вырастают длинные углеродные нити, многослойные нанотрубки длиной до нескольких десятков микрон с внутренним диаметром от 10 нм и внешним — 100 нм. Имеются также металлические частицы, покрытые многослойной графитовой оболочкой. Как видим, в этом процессе трудно получить однородные нанотрубки, ибо каталитический порошок — слишком неоднородная среда, чтобы получить при выращивании однородную трубку.

В результате многочисленных исследований был найден оптимальный вариант: подложка, на которой нужно выращивать нанотрубки, должна быть пористой с высокой степенью однородности пор, заполненных частицами металлического катализатора. Если размеры частиц и пор совпадают, диаметр вырастающих трубок оказывается практически таким же. Если

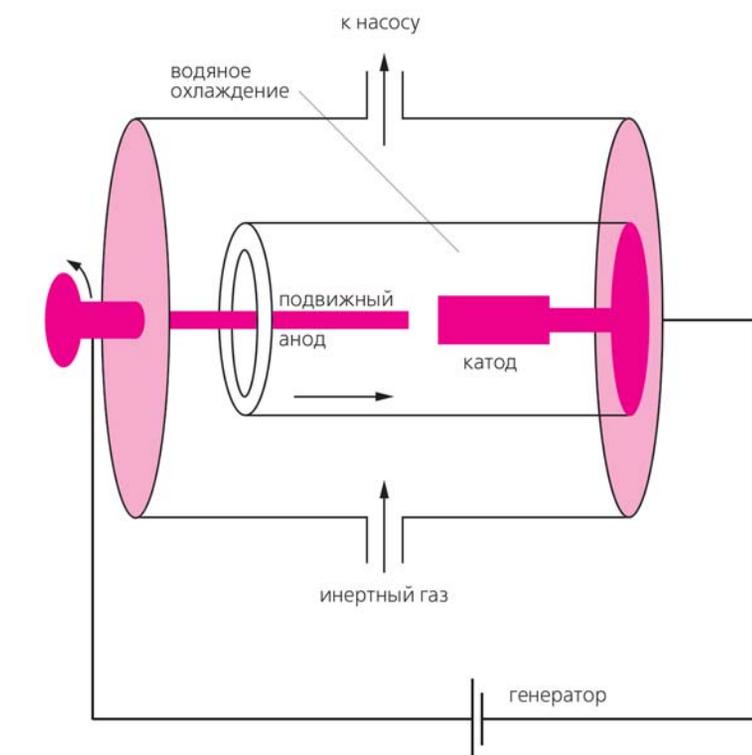


Рис.3. Схема установки для получения нанотрубок электродуговым методом.



Рис.4. Схема установки для получения нанотрубок методом химического осаждения.

ли поры имеют достаточную глубину и поверхностная плотность их достаточно высока, то трубки вырастают строго перпендикулярно поверхности подложки и оказываются в высокой степени однородными. Таким образом, проблема сводится к приготовлению подложки, поверхность которой была бы пронизана многочисленными глубокими, однородными порами. На дне последних должен располагаться металлический катализатор, служащий затравкой на начальной стадии роста трубки. Катализаторами обычно работают Fe, Co и Ni.

## Рекорды упругости

Первые же исследования показали, что нанотрубки обладают великолепными механическими свойствами. Модуль упругости вдоль продольной оси трубки составляет  $\approx 7000$  ГПа, тогда как у легированной стали и наиболее упругого металла иттрия — 200 и 520 ГПа соответственно [10]. Кроме того, однослойные нанотрубки способны упруго удлиниться на 16%. Чтобы наглядно представить подобное свойство материала у стальной спицы длиной 30 см, вообразим, что она растягива-

ется под нагрузкой на 4.5 см, а после снятия нагрузки возвращается к исходному размеру. Такое свойство называется сверхупругостью. Из сверхупругой нанотрубки можно сделать зонд для электрических измерений: при превышении некоторого усилия он будет изгибаться упруго, обеспечивая тем самым хороший контакт с поверхностью.

Наиболее типична для многослойных нанотрубок структура русской матрешки, когда трубки меньшего размера вложены в более крупные. Эксперименты сейчас достигли такого изящества, что с помощью специального манипулятора можно вытянуть внутренние слои, оставив внешние слои фиксированными (см. рис.5) [3]. Нанотрубка удлиняется подобно телескопической антенне или удочке, приобретая коническую со ступеньками форму. Это делается так (рис.5,а): трубку укрепляют с одного конца и снимают с нее несколько слоев вблизи вершины, чтобы сделать кончик, за который можно «ухватиться». Затем

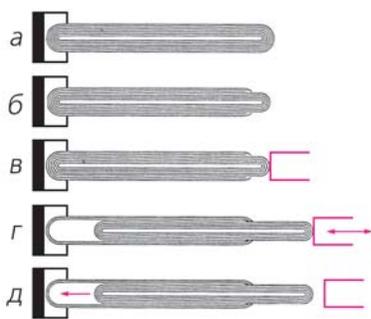


Рис.5. Создание телескопической нанотрубной системы: а) исходная нанотрубка; б) нанотрубка после удаления внешних слоев на вершине; в) нанотрубка с манипулятором; г) движение манипулятора вызывает обратное перемещение внутренних слоев нанотрубки относительно наружных; д) отсоединение манипулятора от нанотрубки приводит к возврату внутренних слоев нанотрубки в исходное положение.

к заостренному концу подводят манипулятор, двигая которым можно удлинять или укорачивать трубку за счет вытягивания внутренних слоев из внешней оболочки. Если удалить манипулятор, вытянутая часть возвращается под действием сил притяжения Ван-дер-Ваальса, как пружина. Измеряя время возвращения внутренних слоев после удаления манипулятора, определили силы статического ( $2.3 \cdot 10^{-14}$  Н/атом) и динамического ( $1.5 \cdot 10^{-14}$  Н/атом) трения одного слоя о другой. С этой точки зрения многослойная углеродная нанотрубка является великолепным цилиндрическим подшипником. Если внутреннюю часть оставить неподвижной, а внешнюю заставить вращаться, можно получить почти идеальный подшипник скольжения, где поверхность скольжения атомно-гладкая, а силы взаимодействия между поверхностями очень слабые (силы Ван-дер-Ваальса). При этом статическая сила трения на единице площади оказывается всего лишь  $60 \text{ Н} \cdot \text{см}^{-2}$ , а динамическая —  $45 \text{ Н} \cdot \text{см}^{-2}$ . Как известно, при скольжении коэффициент трения есть отношение силы трения к силе нормального давления. Если предположить, что последняя составляет 0.01 модуля сдвига, равного для многослойных трубок  $\sim 25 \text{ ГПа}$ , то коэффициент трения получится  $\approx 10^{-5}$  — на два порядка меньше, чем у лучших пар трения в макроскопических твердых телах! Итак, открывается возможность создать миниатюрные нано подшипники с пренебрежимо малыми силами трения, необходимые для наносистемной техники будущего (нанодрелей, наностанков и др.).

### Мегатоки в нанопроводах

Вследствие малых размеров нанотрубок только в 1996 г. удалось непосредственно измерить удельное электрическое

сопротивление ( $\rho$ ) четырехконтактным методом [11]. Чтобы читатель оценил экспериментальное мастерство, потребовавшееся для этого, дадим краткое описание метода. На полированную поверхность оксида кремния в вакууме наносились золотые полоски. В промежутках между ними напылялись нанотрубки длиной 2—3 мкм. Затем на одну из них, выбранную для измерения, наносились четыре вольфрамовых проводника толщиной 80 нм, расположение которых показано на рис.6. Каждый из вольфрамовых проводников имел контакт с одной из золотых полосок. Расстояние между контактами на нанотрубке составляло 0.3—1.0 мкм. Результаты прямых измерений показали, что  $\rho$  трубок изменяется в огромных пределах — от  $5 \cdot 10^{-6}$  до  $0.8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ; минимальная величина  $\rho$  оказалась на порядок ниже, чем у графита. Такой разброс значений не должен удивлять, поскольку трубки (и однослойные, и многослойные) могут иметь как металлическую, так и полупроводниковую проводимость. С другой стороны, сопротивление индивидуальных нанотрубок оказывается значительно ниже, чем подводящих дорожек и непо-

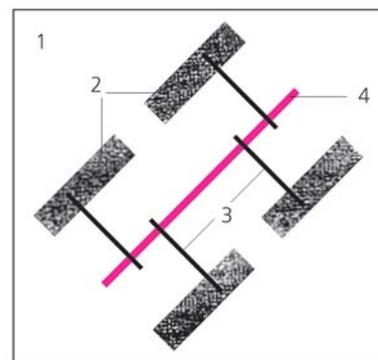


Рис.6. Измерение электрического сопротивления индивидуальной нанотрубки четырехзондовым методом: 1 — подложка из оксида кремния; 2 — золотые контактные площадки; 3 — вольфрамовые проводящие дорожки; 4 — углеродная нанотрубка.

средственных контактных переходов. Техника эксперимента совершенствуется, и в 2001 г. удалось провести измерения на многослойных трубках диаметром 8.6 нм [12], которые показали, что нанотрубки с минимальным  $\rho = 5 \cdot 10^{-6}$  Ом·см могут пропускать чудовищную плотность тока  $\approx 1.8 \cdot 10^{10}$  А/см<sup>2</sup>. При  $T = 250^\circ\text{C}$  такой ток сохранялся в течение двух недель (334 ч) без какой-либо деградации трубки за счет электромиграции. В опытах использовались вольфрамовые контакты, нанесенные электронно-лучевым способом, поперечное сечение которых было на два порядка больше, чем у трубок.

Следует напомнить, что проводники из высокопроводящих чистых металлов (Au, Ag, Cu) при пропускании электрического тока плотностью уже  $10^6$  А/см<sup>2</sup> разрушаются из-за джоулева нагрева и электромиграции атомов. Таким образом, проводящие нанотрубки в качестве проводников в наноэлектронике позволяют подводить токи огромной плотности — на три-четыре порядка больше, чем обычные проводники, — не нагреваясь при этом.

## Электроны на конвейере

В научных исследованиях и инженерной практике очень часто необходимы пучки свободных электронов. Электронов полным-полно в любом проводнике, но выйти за его границы им мешает потенциальный барьер на поверхности. Чтобы извлечь электрон из твердого тела, нужно совершить определенную работу — так называемую работу выхода. Необходимую энергию можно доставить, нагревая проводник, — так работают термоэмиссионные катоды. Другой вариант — создать у поверхности заземленного проводника внешнее электрическое поле, которое позволит электронам преодолеть барьер.

Тогда возникает автоэлектронная эмиссия; ее величина (ток) будет функцией приложенного напряжения.

Как только нанотрубки появились в достаточном количестве, сразу стали проводиться интенсивные исследования их электронной эмиссии. В этом весьма преуспели наши соотечественники [13]. Если трубки расположены перпендикулярно подложке, величина тока эмиссии находится в хорошем соответствии с известным выражением Фаулера—Нордгейма

$$I = cE \exp\left(-\frac{k\phi^{3/2}}{E}\right), \quad (3)$$

в котором  $c$  и  $k$  — константы;  $\phi$  — работа выхода электронов из металла;  $E$  — напряженность электрического поля в тех местах, где осуществляется выход электронов (у вершин нанотрубок). Грубую оценку  $E$  можно получить [13], зная, что  $E \sim U/r$ , где  $U$  — напряжение между катодом и анодом,  $r$  — радиус закругления верхней части нанотрубки. Считая, что  $r \sim 10^{-6}$  см, при  $U = 500$  В получаем  $E = 5 \cdot 10^8$  В/см. Этой напряженности электрического поля вполне достаточно для вытягивания электронов при работе выхода  $\phi = 5$  эВ. Таким образом, автоэмиссия в данном случае обеспечивается за счет конфигурации поверхности, из которой извлекаются электроны, — «щетки» заостренных тонких иглонок, обеспечивающей достаточно высокую напряженность электрического поля у вершин.

Исследования показали, что эмиссионные свойства нанотрубок зависят от легирования, адсорбции газов из окружающей среды и других факторов, влияющих на работу выхода электронов. В настоящее время многие фирмы взялись за создание электронных приборов с холодными катодами на основе нанотрубок. Этот класс приборов включает в себя электронные дисплеи, источники рентгеновского излучения, лю-

минесцентные источники света и т.п., которые отличаются от традиционных аналогов более низкими напряжениями питания, потребляют меньшую мощность, имеют малые массу и поперечные размеры.

Холодный катод, используемый в качестве генератора электронов, должен иметь высокую стабильность тока, достаточную яркость источника, малый разброс электронов по энергиям, хорошую поверхностную однородность эмиссионных характеристик. Катоды на основе нанотрубок хорошо удовлетворяют этим требованиям, и вскоре такие приборы появятся и в быту, и в инженерной практике. В частности, с их помощью можно создать плоские телевизионные экраны огромных размеров.

## Сюрпризы магнетизма

Углерод, особенный элемент, составляющий основу множества природных и синтетических материалов, удивляет нас и тем, что в форме нанотрубок он приобретает необычные магнитные свойства.

Хорошо известно аномально высокое значение диамагнитной восприимчивости графита, когда внешнее магнитное поле направлено перпендикулярно графитовым плоскостям. Восприимчивость определяется по формуле Лармора—Ланжевена

$$\chi = -(Ne^2/4mc^2)R^2. \quad (4)$$

Здесь  $c$  — скорость света,  $m$  и  $e$  — масса и заряд электрона,  $N$  — число Авогадро,  $R$  — радиус циркулирующего тока. Для  $\pi$ -электронов графита  $R = 0.78$  нм, т.е. площадь, охватываемая круговым током, включает в себя 36 элементарных ячеек графита. Это приводит к величине  $\chi \approx 10^{-4}$  СГСМ·моль<sup>-1</sup>, что в 25 раз больше диамагнитной восприимчивости алмаза.

Как только были получены углеродные нанотрубки, встал вопрос о роли циркуляции кру-

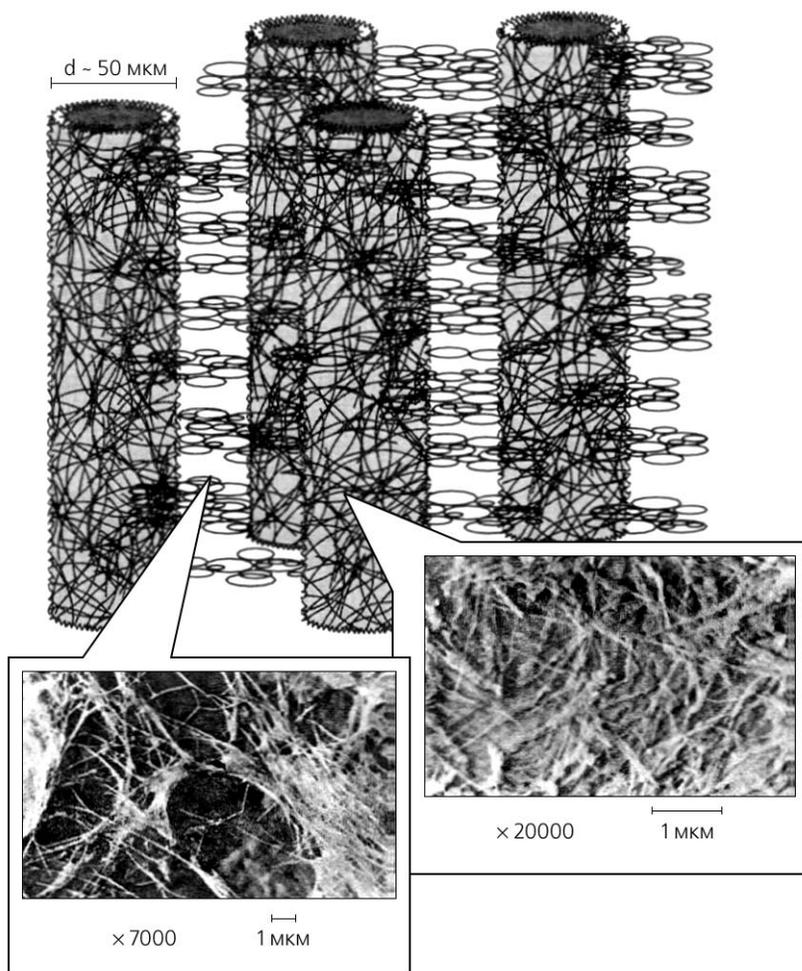


Рис.7. Модель колончатой структуры катодных депозитов. Многослойные нанотрубки в виде плотной неупорядоченной плетенки находятся на боковых поверхностях колонок и в виде разреженной нанотрубной паутины в пространстве между ними.

говых токов по окружности трубки в магнитных процессах. Расчеты показали, что при ориентации магнитного поля вдоль продольной оси нанотрубки со средним радиусом  $r = 8$  нм диамагнитная восприимчивость может достигать значений  $\sim 10^{-2}$  СГСМ·моль<sup>-1</sup> — на два порядка выше, чем у графита!

Совсем поразительные магнитные свойства обнаруживаются у скоплений нанотрубок, сформированных в виде колонок, поверхности которых будто сотканы разреженной нанотрубной паутиной из многослойных нанотрубок [14] (см.

рис.7). (Подобная структура, напомним, получается при синтезе в плазме электрического разряда.) Если поместить нанотрубные колонки в магнитное поле, перпендикулярное их продольной оси, магнитный поток захватывается — в результате того, что магнитное поле индуцирует не затухающие при гелиевых и очень слабо затухающие при комнатных температурах токи. Данное явление очень похоже на происходящее в многосвященной сверхпроводящей структуре. Был предложен специальный эксперимент, когда образец, представляющий со-

бой колонки из углеродных нанотрубок, выдерживался с захваченным магнитным потоком при 100°C в течение двух часов. Величина магнитного момента после такой выдержки уменьшалась всего в два раза! Это означает, что циркулирующий по многосвященной структуре ток очень медленно затухает, т.е. проводимость по нанотрубным каналам сильно отличается от той, которая характерна для обычных металлических проводников. Совсем недавно был доказан квантовый характер проводимости многослойных нанотрубок диаметром 5–25 нм и длиной до 10 мкм, измеренной при комнатной температуре: проводимость не зависит от длины трубки и ее диаметра и равна кванту проводимости  $\sigma = 2e^2/h = (12.9 \text{ кОм})^{-1}$ . Уже при плотности электрического тока порядка  $10^7$  А/см<sup>2</sup>, протекающего через нанотрубку, рассеиваемая на ней мощность (вследствие конечного квантового сопротивления) составляет  $\sim 0.003$  Вт. Если эта мощность рассеивалась бы равномерно по длине нанотрубки, ее температура достигла бы величины 20 000 К. Отсюда следует, что высокотемпературный перенос электронов в многослойных углеродных нанотрубках является баллистическим, т.е. электроны движутся от одного конца к другому, не встречая препятствий (как артиллерийский снаряд при стрельбе). Такой перенос заряда происходит без выделения тепла. Значит, циркулирующие токи, созданные внешним магнитным потоком, могут достаточно долго существовать даже при температурах выше комнатных.

\* \* \*

Открытие углеродных нанотрубок относится к наиболее значительным достижениям современной науки. Эта форма углерода по структуре занимает промежуточное положение между графитом и фуллеренами. Однако по многим свойствам она

разительно отличается как от первого, так и от вторых. Поэтому нанотрубки следует рассматривать как новый материал с уникальными физико-химическими свойствами, открывающий большие возможности для широкого применения.

Разнообразие новых и необычных механических, электрических и магнитных свойств трубок обеспечивает основу прорыва в нанoeлектронике и наномеханике. Реальной стала перспектива сделать одноэлек-

тронные транзисторы и чипы с плотностью записи  $10^{14}$  бит/см<sup>2</sup>, плоские дисплеи, потребляющие на порядок меньше электроэнергии для своей работы и т.д. Уже сейчас нанотрубки используются в качестве кантиллеров в атомно-силовых электронных микроскопах, позволяющих увидеть как отдельные атомы, так и молекулы. Рассматривается вопрос о создании наноподшипников скольжения, нанодрелей и наномонтажных станочков на основе трубок.

Впереди нас ждет увлекательная работа по конструированию и изготовлению нанoeлектронных и наномеханических устройств, которые значительно облегчат жизнь человека. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 02-02-16102 и 03-02-96486) и МО РФ (грант поддержки ведущих научно-педагогических коллективов).**

## Литература

1. Гусев А.В. // УФН. 1998. Т.168. №1. С.55—83.
2. Елецкий А.В., Смирнов Б.М. // Успехи физ. наук. 1995. Т.165. №9. С.977—1009.
3. Елецкий А.В. // Успехи физ. наук. 2002. Т.172. №4. С.401—438.
4. Калинин Ю.Е., Пономаренко А.Т., Ситников А.В. и др. // Физика и химия обработки материалов. 2001. №5. С.14—20.
5. Касаткин С.И., Васильева Н.П., Муравьев А.М. Многослойные тонкопленочные магниторезистивные элементы. Тула, 2001.
6. Головин Ю.И. Нанотехнологическая революция стартовала! // Природа. 2004. №1. С.25—36.
7. Дьячков П.Н. // Углеродные нанотрубки. Материалы для компьютеров XXI века // Природа. 2000. №11. С.23—30.
8. Odom T.W., Huang J.-W., Kim P. et al. // J. Phys. Chem. B. 2000. V.104. P.2794—2800.
9. Золотухин И.В. // Соросовский образоват. журн. 1999. №3. С.111—115.
10. Золотухин И.В., Калинин Ю.Е., Стогней О.В. Новые направления физического материаловедения. Воронеж, 2000.
11. Ebbesen T.W., Lezec H.J., Hiura H. et al. // Nature. 1996. V.382. P.54—56.
12. Wei B.Q., Vajtai R., Ajayan P.M. et al. // Appl. Phys. Lett. 2001. V.79. №8. P.1072—1074.
13. Гуляев Ю.В., Синицын Н.И., Торгашов Г.В. и др. // Микроэлектроника. 1997. Т.2. С.84—88.
14. Цебро В.И., Омеляновский О.Е. // Успехи физ. наук. 2000. Т.170. №8. С.906—912.

Первый в мире подводный электрогенератор, использующий энергию морских течений, поставлен на дно в проливе Квальсунд (70°30'с.ш., 23°55'в.д., Норвегия). 10-метровые лопасти генератора вращают потоки воды, проходящие здесь со скоростью 2.5 м/с. Вырабатываемой электроэнергии вполне достаточно для обеспечения 30 зданий, стоящих на берегу пролива. Хотя напор течения на лопасти значительно уступает давлению ветра, зато он усиливается за счет плотности воды, которая в 850 раз плотнее воз-

духа. Несмотря на высокую стоимость подводного электрогенератора (10 млн евро), правительство Норвегии планирует ввести в действие еще 19 подобных установок.

Sciences et Avenir. 2003. №682. P.56 (Франция).

Университет штата Вашингтон в Сиэтле (США) организовал экспедицию, цель которой содействовать сохранению и возрождению некоторых языков коренного населения штата Аляска. Ее возглавила линг-

вист Э.Тафф (A.Taff), ранее работавшая школьным учителем в отдаленных районах штата. Уже записана речь жителей о-вов Прибылова и Алеутских о-вов, которые помнят алеутский — один из девяти местных языков, находящихся под угрозой исчезновения. К сожалению, большинство детей не желают перенимать язык у старшего поколения и взрослые отказываются от попыток обучения.

Science. 2003. V.301. №5632. P.460 (США).

Коротко

# Млекопитающие: эмбрион в личинке

Н.Ю.Сахарова

## От Ромула до наших дней

Зарождением новой жизни интересовались еще древние мудрецы, но имели на сей счет самые невероятные представления. Аристотель, например, допускал, что лягушки рождаются из ила, а насекомые, черви и прочая мелочь заводятся сами собой в мало-мальски подходящих местах. Алхимики пошли дальше — пытались получить какой-нибудь организм в колбах и ретортах. Сам великий Парацельс дал рецепт изготовления настоящего живого ребенка, правда, очень маленького.

Давно прошли времена алхимиков, поиски гомункулюса сменились естественнонаучными исследованиями. Их объектами стали животные всех крупных и мелких таксонов (изучалось и развитие растительных зародышей), возникла специальная биологическая дисциплина эмбриология. Расцвет ее сравнительно-эволюционной ветви пришелся на последнюю половину XIX—начало XX в. В результате было выявлено сходство в эмбриональном развитии, а значит, и родственные связи животных, которые, как казалось, исходя из анатомических и физиологических данных



*Наталья Юрьевна Сахарова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН. Занималась эмбриологией низших беспозвоночных и насекомых, в настоящее время изучает особенности раннего развития мышей в связи с проблемами криоконсервации.*

о взрослых организмах, эволюционно далеко отстоят друг от друга. Нашлось и место млекопитающим в эволюционном ряду животных, но при этом в их эмбриональном развитии не рассматривался самый ранний период — начальные стадии дробления. Тем не менее можно сказать, что они тоже изучены досконально, им посвящено немало обзоров и монографий, они вошли во многие учебники по биологии развития.

Однако ранний эмбриогенез хранит в себе еще много таинственного и непонятного. Вот высказывания некоторых авторитетных современных исследователей, иллюстрирующие своего рода парадоксы и загад-

ки этого периода развития плацентарных млекопитающих:

– по-видимому, яйцеклетки млекопитающих очень необычны в царстве животных. Ни анимальный ее полюс, ни вегетативный в дробящемся эмбрионе абсолютно не нужны для морфогенеза бластоцисты [1];

– порядок клеточных делений, приводящих к восьмиклеточной стадии, варьирует у разных эмбрионов, в противоположность тому, что наблюдается в других phyla животных [2];

– до недавнего времени считалось, что ранний (доимплантационный) период важен в основном для образования тканей, обеспечивающих будущий плод питанием и защитой [3];

– термин «эмбрион» в биологии млекопитающих несет оттенок некой двусмысленности: действительно, двухклеточная стадия или бластоциста по сути не являются эмбрионами, эмбрион формируется лишь при гаструляции, а затем развивается в плод [4].

Эти высказывания заставляют задуматься об интерпретации тех фактов, которые относятся к начальному периоду зародышевого развития. Как же формируется ранний эмбрион млекопитающих?

### Отличия на фоне общности

После оплодотворения, которое происходит в то время, когда яйцеклетка на метафазе второго деления созревания находится в верхней части яйцевода, начинается дробление. В этот период зародыш из одноклеточного состояния (зиготы) переходит в многоклеточное путем повторяющихся делений оплодотворенной яйцеклетки. Дробящийся зародыш постепенно перемещается по яйцеводу и в нижней его части достигает восьмиклеточной стадии. Клетки эмбриона, бластомеры, укладываются компактнее (происходит так называемая компактизация), дифференцируются на внутренние и наружные, различающиеся строением и будущей судьбой. Следующие деления приводят к образованию морулы в виде плотного комка клеток, а она превращается в бластоцисту, напоминающую полый пузырек. Ее трофобласт — тонкая стенка пузырька — образован вытянутыми крупными клетками, потомками наружных клеток морулы, а внутри находится небольшое скопление мелких клеток, асимметрично прикрепленных к стенке. Это — внутренняя клеточная масса (ВКМ). На стадии бластоцисты зародыш попадает в матку, выходит из оболочки оплодотворения (*zona pellucida*) и прикрепляется к стенке матки с по-

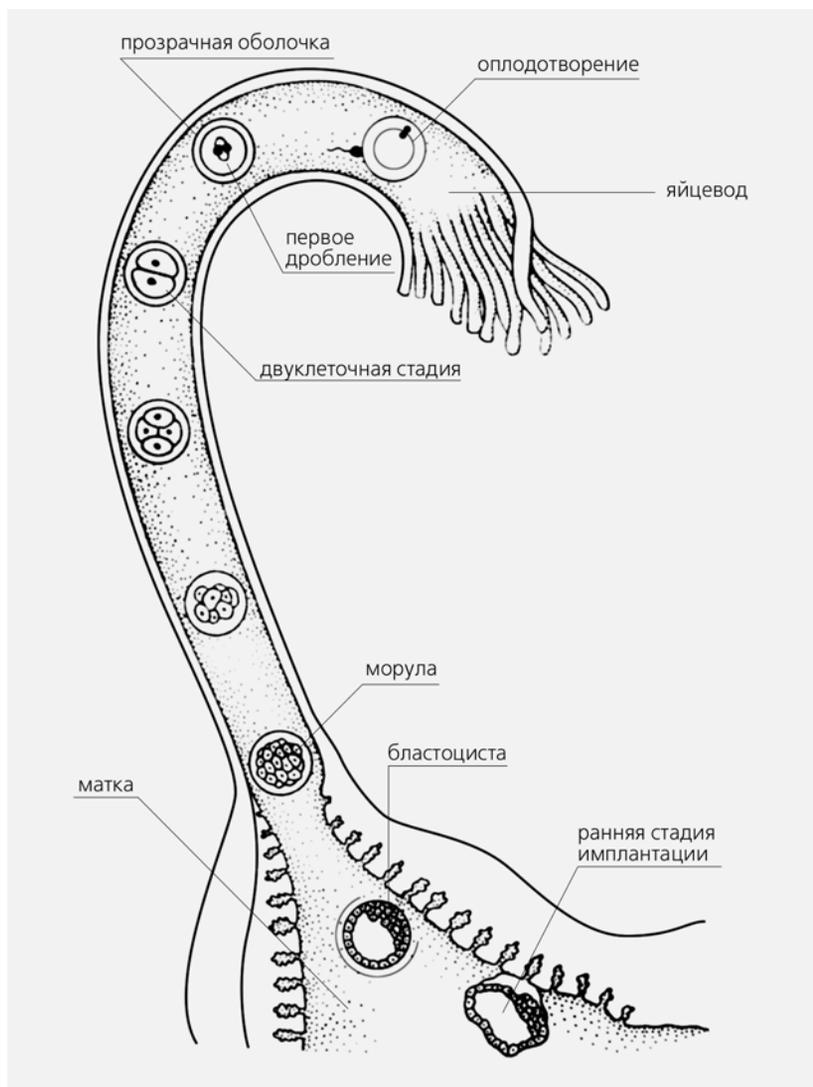


Схема развития зародышей млекопитающих от оплодотворения до имплантации (по Гилберту С., 1993).

мощью трофобласта, который затем станет эмбриональной частью плаценты.

Дальнейшее развитие посредством делений и дифференцировок внутренних клеток идет по плану, общему для эмбрионов всех позвоночных животных, размножающихся на суше (Amniota), с теми хорошо изученными чертами, которые присущи млекопитающим. Но не об этом пойдет речь, а об особенностях зародыша плацентарных на самых ранних стадиях — в период дробления оплодотворенной яйцеклетки.

У млекопитающих, в отличие от их непосредственных эволюционных предков, яйцеклетки лишены желтка — основного питательного вещества, необходимого для развития зародыша. У других позвоночных в цитоплазме яйцеклетки желток имеется; полюс, где он сконцентрирован, называют вегетативным, а противоположный — анимальным. Количеством и распределением желтка обусловлены закономерности дробления яйцеклетки у этих животных: бластомеры делятся синхронно, и их положение строго фиксировано.

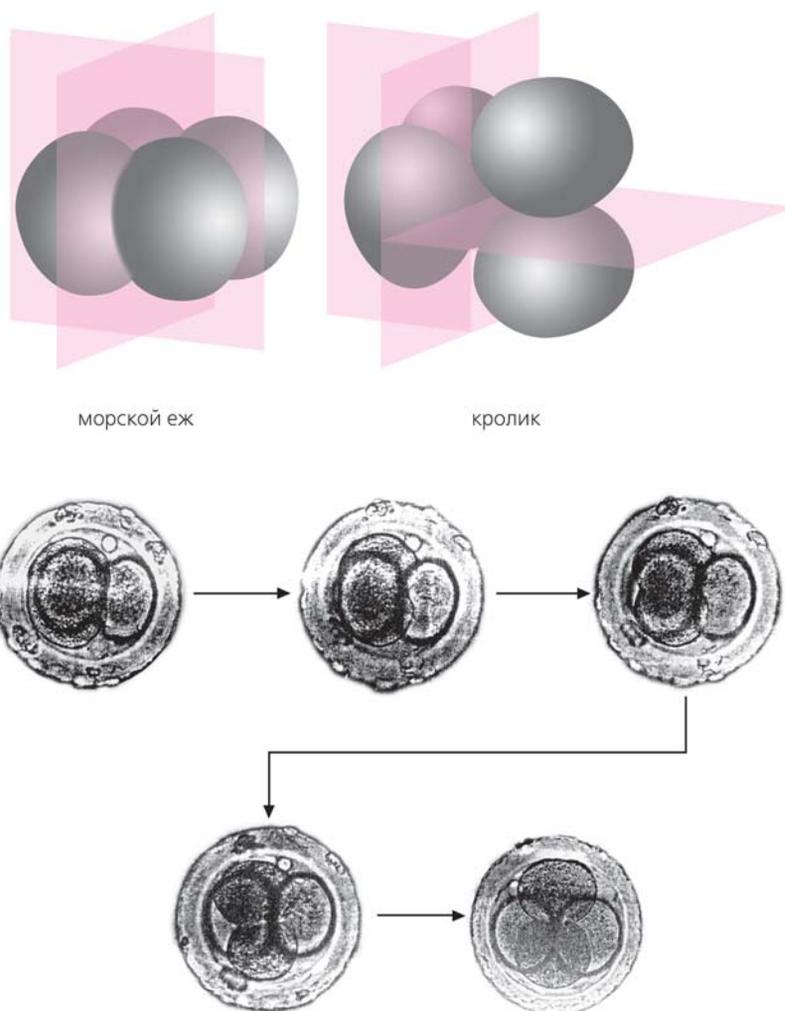


Схема первых делений зародыша иглокожих и млекопитающих (вверху) и кадры съемки зародыша кролика во время второго деления дробления. Видно, что у млекопитающих борозды деления дробления лежат во взаимно перпендикулярных плоскостях, а бластомеры образуют крестообразную фигуру. На кадрах съемки отражен переход зародыша из трехклеточного состояния в четырехклеточное, сопровождающийся последовательным изменением взаимного расположения бластомеров (Guljas, 1975).

В безжелтковых (алецитальных) яйцеклетках млекопитающих полярность выражена слабо, а дробление полное и асинхронное. Уже на двухклеточной стадии один бластомер делится быстрее другого, и так продолжается в течение всего периода дробления. Обычно «быстрые» бластомеры поставляют своих потомков в состав внутренней клеточной массы, но бывает, что и в популяцию клеток трофобласта.

У млекопитающих бластомеры на ранних стадиях дробления способны перемещаться. Еще одна примечательная черта — крестообразная фигура, образующаяся после полного завершения второго деления. Возникает она потому, что борозды (границы бластомеров) проходят в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Из-за слабых адгезивных свойств поверхностей бласто-

меров и перемещений относительно друг друга эти клетки располагаются хаотически, причем в разных эмбрионах по-своему. Это коренным образом отличает восьмиклеточного зародыша млекопитающих от эмбрионов других позвоночных. Асинхронность дробления особенно выявляется у зародышей, в эксперименте лишенных оболочки. На двухклеточной стадии «быстрый» бластомер может делиться в той или иной плоскости, и возникающие в результате клетки располагаются рыхло, образуя клеточные скопления разнообразной формы [1, 2].

Ранний зародыш млекопитающих по характеру развития можно отнести к регуляционным системам, поскольку каждая его клетка поразительно восприимчива к сигналам, идущим от соседей. Это было выявлено в многочисленных экспериментах, выполненных в 60—70-х годах такими классиками эмбриологии, как А.Тарковский, Б.Минтц и др. В раннем зародыше нет четкой определенности в судьбе отдельных бластомеров, их будущее не фиксировано жестко, а зависит прежде всего от взаимного расположения. Потомки любой клетки раннего зародыша способны стать клетками и внутренней клеточной массы, и трофобласта. Более того, бластомеры легко отделяются друг от друга, и каждый из них может дать начало целому организму. Иначе говоря, клетки очень ранних эмбрионов плацентарных идентичны и обладают неограниченными потенциями (т.е. тотипотентны). Обо всем этом говорят результаты опытов, в которых зародыши разделялись на отдельные бластомеры, создавались химеры из клеток разного возраста и в несходных сочетаниях, прослеживалась судьба индивидуальных бластомеров с помощью введения в них метки.

*По всем приведенным характеристикам ранние зародыши млекопитающих резко отлича-*

ются от таковых других позвоночных. Но ведь одно из доказательств эволюционного родства организмов — сходство в способе дробления, а этого-то и нет в раннем периоде развития зародышей плацентарных животных. Может быть, начальные стадии онтогенеза млекопитающих формировались в эволюции путем возврата к способу, который характерен для далеких предков?

Еще в конце XIX в. И.И.Мечников детально изучил развитие метагенетических гидромедуз — кишечнополостных животных, у которых яйцеклетки не содержат желтка (т.е. алециталны) и не поляризованы. Оказалось, что дробление у гидромедуз асинхронное и хаотическое, бластомеры способны перемещаться и формировать цепочки, а также отделяться друг от друга, давая начало полноценным особям. Почти все так же, как у млекопитающих!

Если вспомнить, что при дроблении зародышей млекопитающих бластомеры образуют крестообразную фигуру, нужно

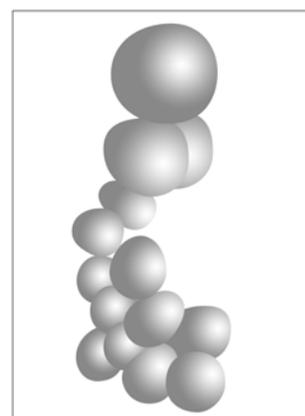
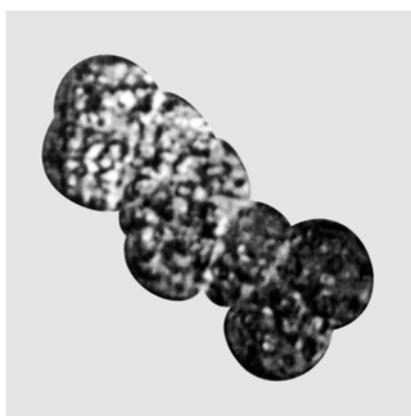
поискать и ее подобие. Оно найдено: у низших многоклеточных на четырехклеточной стадии дробления образуется «палинтомический» крест, явно напоминающий расположение спор при палинтомическом делении колониальных жгутиковых [5]. Именно по этому общему признаку сделано заключение о несомненной эволюционной связи организмов упомянутых групп.

Таким образом, *в своем начальном развитии млекопитающие характеризуются многими особенностями, которые резко отличают их от других позвоночных животных и сближают с низшими многоклеточными, а крестообразное расположение клеток на стадии четырех бластомеров наглядно иллюстрирует сходство с палинтомическим делением у колониальных жгутиковых.*

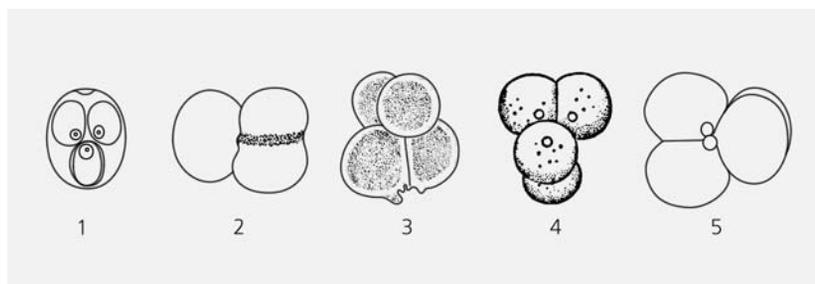
Следовательно, млекопитающие «используют» способы дробления зародышей низших многоклеточных, лежащих, по современным представлениям, в основании филогенетического древа животных. Тут ко вре-

мени напомнить о безжелтковой яйцеклетке млекопитающих — явлении вторичном, произошедшем в процессе эволюции. Известный эмбриолог О.М.Иванова-Казас считает: после исчезновения желтка дробление у них будто бы вернулось на исходные эволюционные позиции и приобрело черты вторичного сходства с дроблением у низших многоклеточных [6]. Например, и у млекопитающих, и у многих гидромедуз на стадии морулы клетки распределяются на внешний и внутренний слои. У гидромедуз в ходе этого процесса, называемого деламинацией, формируются первичные зародышевые листки (экто- и энтодерма), а из них — органы будущего животного. Во время событий, напоминающих деламинацию и происходящих в моруле млекопитающих, клетки тоже дифференцируются на внутренние и внешние [6]. У гидромедуз морула преобразуется в планулу, свободно живущую личинку, у млекопитающих — в бластоцисту. Что же она представляет собой?

**Ранние зародыши низших многоклеточных (справа) и млекопитающих. И у первых (метагенетических медуз), и у вторых (мышей, чьи зародыши лишены оболочки оплодотворения) дробление хаотическое (по Захваткину Ю.А., 1949 и Zernicka-Goetz M., 1998).**



**«Палинтомический» крест, образующийся при дроблении у жгутиковых, метагенетических гидромедуз и млекопитающих. У жгутиковых (1, 2) клетки располагаются крестообразно при повторном делении (палинтомии), у гидромедуз (3, 4) и мыши (5) — при втором делении дробления.**



## Личинка и клонирование

Как хорошо известно, отсутствие в яйцеклетке желтка или его малое количество у абсолютного большинства животных связано с наличием в их онтогенезе личиночной стадии. Логично предположить, что ее восстановлением в эмбриогенезе млекопитающих сопровождался возврат их яйцеклеток к алецитальности. Если руководствоваться основным определением эмбриологии как науки, изучающей развитие особи *et bryo*, т.е. в оболочке, то *собственно эмбриональное развитие млекопитающих заканчивается выходом бластоцисты из оболочки оплодотворения (zona pellucida)*. Сама же бластоциста — это аналог личинки, тело которой составляет внутренняя клеточная масса, а трофобласт служит приспособлением для питания.

С учетом ее дальнейшей судьбы, *бластоциста напоминает паразитическую личинку, обладающую специальным приспособлением для развития в теле хозяина — материнском организме.*

О том, что млекопитающим свойственно несвободное личи-

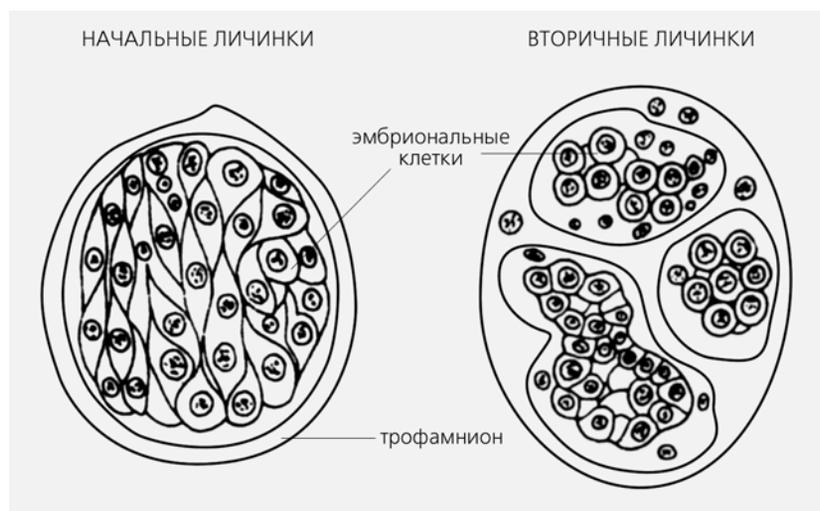
ночное развитие, а личиночный период превратился у них в плодный, Г.А.Шмидт говорил более 30 лет назад [7], а С.М.Тилгман совсем недавно высказал мысль о «паразитоподобных» отношениях между эмбрионом и матерью. С помощью трофобласта, который участвует в образовании плаценты, развивающийся организм полностью обеспечивается питанием. Собственно говоря, наиболее важным результатом раннего доимплантационного развития и считали именно формирование трофобласта как специализированного органа для питания и защиты эмбриона. Это само по себе уже наводит на мысль, что бластоциста никак не может быть эмбрионом ни в каком смысле этого слова. Вероятно, вторичная алецитальность яйцеклетки и должна была привести к появлению стадии личинки в жизненном цикле млекопитающих. Цитируемая уже Иванова-Казас полагает, что установка раннего развития на личинку есть своего рода обходной маневр, после которого развитие возвращается на главную стратегическую дорогу [8]. Что касается млекопитающих, то стадия личинки позволяет продолжить эмбриогенез за

счет поступления питательных веществ из тела матери.

Если принять такое объяснение ранних стадий развития млекопитающих, исчезнет оттенок двусмысленности в термине «эмбрион», о которой упоминает М.Манк [4]. По ее словам, *двуклеточная стадия или бластоциста по сути не являются эмбрионами, эмбрион формируется лишь при гастрюляции, а затем развивается в плод.* В последнее время ранний зародыш принято называть *con-septus*, т.е. возникший в результате зачатия, а начиная со стадии гастрюляции — *embryo proper*, т.е. собственно эмбрион [9]. Такое различие ведет к представлению о **наличии в развитии млекопитающих не последовательных эмбриональных стадий, а двух разных эмбрионов.** С этих позиций формирование раннего зародыша *следует считать истинным эмбриогенезом, который заканчивается образованием личинки, хорошо известной под именем бластоцисты.* Однако неопровержимо и то, что дальнейшее развитие млекопитающих также несет в себе несомненные черты эмбриогенеза, протекающего по образцу, характерному для всех амниот. Этот новый эмбрион (*embryo proper*) путем прямого развития дает начало плоду, а затем и новорожденному животному.

Как же согласовать наличие стадии личинки и последующего образования нового эмбриона?

Будет крамолрой даже подумать, что он развивается из личинки, это категорически противоречит основному постулату эмбриологии, согласно которому невозможно обратить развитие вспять. *Личинка никогда не станет вновь эмбрионом, но в ней он может образоваться.* Такое явление, хорошо известное как полиэмбриония, детально изучено на примере наездников, перепончатокрылых насекомых, у которых в связи с паразитизмом яйцеклетки стали вторично алецитальными [10]. У на-



Паразитические личинки перепончатокрылых насекомых — начальные и вторичные. Последние развиваются из эмбриональных клеток в теле материнской личинки (по Захваткину Ю.А., 1975).

ездников морула, возникшая в результате дробления обедненной желтком яйцеклетки, превращается в паразитическую личинку, получающую питательные вещества из организма хозяина через оболочку — трофаннион. Из нескольких соматических клеток тела личинки формируются группы эмбриональных клеток, дающие начало новым личинкам.

Если предположить, что в бластоцисте млекопитающих возникает новый эмбрион, за которым М.Манк только и признавала право называться истинным, то его образование возможно лишь за счет полиэмбрионии. Значит, у этих животных среди клеток, составляющих тело личинки, т.е. среди соматических клеток внутренней клеточной массы бластоцисты, должна быть хотя бы одна группа, способная развиться в новый эмбрион. С таким выводом полностью согласуются результаты экспериментов по исследованию развития химерных зародышей, созданных из генетически различающихся бластомеров [11, 12]. Описание опытов вошло в ставший классическим учебник по биологии развития [13]. На их основании Б.Минтц высказала идею, что начало будущему плоду, а значит, и собственно эмбриону, дает небольшое, четко определенное число клеток из состава внутренней клеточной массы.

Затем гипотеза была проверена в специальных опытах по созданию аллофенных мышей, у которых любой клеточный тип может состоять из фенотипически несходных популяций [11]. Химерные зародыши, образованные из бластомеров, различающихся по генам окраски шерсти, развивались в особи, в чьих шкурках сочетались белый (white) и черный (black) цвета. Проанализировав вероятность сочетаний  $(W + B)^3$ , Минтц разработала математическую модель происхождения собственно эмбриона из трех клеток внутренней клеточной

массы. По этой модели, 75% изначально аллофенных эмбрионов становятся «окончательными мозаиками» и 25% — «неомозаиками», что полностью совпадает с экспериментальными данными. Действительно родились черно-белые мыши, чьи клетки произошли от обеих зародышей — с генами черной и белой окраски. Если бы они развивались только из одной клетки бластоцисты, потомки могли быть либо одного цвета, либо другого; если же из двух клеток, мозаичный рисунок проявился бы только в половине случаев (1WW : 2WB : 1BB). При формировании зародыша из трех клеток вероятность рождения двухцветных животных должна увеличиться до 75% (1WWW : 3WWB : 3WBB : 1BBB), а из четырех — составить 87.5%. В опытах Минтц 73% химерных зародышей развились в аллофенных мышей, а следовательно, они возникли из трех клеток внутренней клеточной массы.

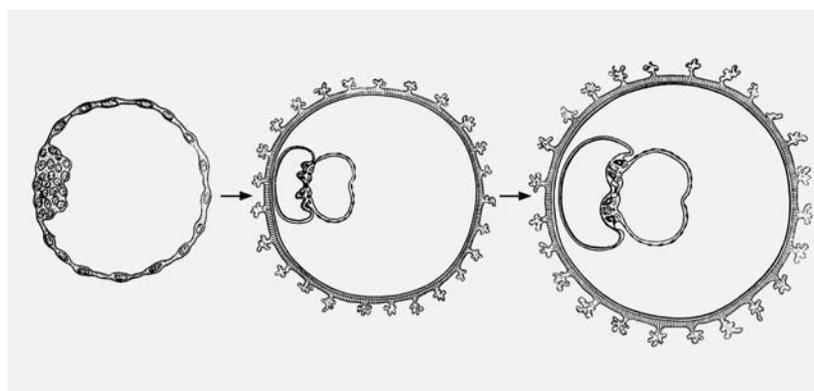
В других опытах были созданы химерные зародыши из бластомеров, несущих гены трех разных окрасок шерсти. Оказалось, что и в этом случае в 64-клеточной бластоцисте только три клетки служат источником тканей химерных мышей, происходящих от шести родителей. Все три эмбриональных генотипа проявились в пестрой окраске шкурки взрослых мышей [12]. Таким образом, ре-

зультаты подтверждают гипотезу Минтц, что «только три клетки в ВКМ бластоцисты являются единственными источниками клеток, строящих взрослый организм».

Итак, согласно Минтц, лишь в трех клетках активируются гены, детерминирующие развитие эмбриона. Именно они формируют три эмбриональных клона, целиком создающие зародыш. Каков механизм выбора этих клеток, пока не известно.

По-видимому, в бластоцисте бывает несколько групп подобных эмбриональных клеток, и тогда рождаются однояйцевые близнецы. В природе такое явление бывает закономерным, свойственным конкретным видам плацентарных млекопитающих, например броненосцам. У вида *Tatusia novemcincta* постоянно рождаются четыре детеныша одного пола, а у *T. hybrida* — 12. Это происходит благодаря тому, что все зародыши развиваются из одной бластоцисты, следовательно, в ней у броненосцев существует не меньше четырех клеточных групп, дающих начало эмбрионам.

Но ведь полиэмбриония не что иное, как соматический эмбриогенез — одна из форм бесполого размножения, распространенная в мире низших беспозвоночных. Предположив, что полиэмбриония вовлечена в развитие истинного эмбриона млекопитающих, придется при-



Возможный способ образования однояйцевых близнецов из клеток внутренней клеточной массы одной бластоцисты (по Пэттэну, 1959).

знать, что он формируется внутри бластоцисты путем бесполого размножения. Следовательно, в онтогенезе млекопитающих сочетаются два способа размножения: половой и бесполой. Зачем же нужна такая вставка бесполого размножения? Ведь единственное, что этим достигается — повторение одного и того же организма, т.е. клонирование. Получается, на первый взгляд, невероятное: клонирование включено в нормальное развитие млекопитающих.

Идея о наличии личиночной стадии и полиэмбрионии может представить интерес для искусственного клонирования млекопитающих. Если, согласно предлагаемой гипотезе, у них сочетаются половой и бесполой способы размножения, то в геноме яйцеклетки должны быть «записаны» две управляющие программы: первая необходима для контроля за развитием из яйцеклетки личинки, а вторая — из личинки плода. Правда, есть основания думать, что вторая программа не всегда выполняется и онтогенез останавливается на стадии бластоцисты. Вероятно, с этим связан известный медицинский факт: до 40% случаев беременности прерываются еще до имплантации бластоцисты в стенку матки.

Сейчас ясно, что используемые для клонирования донорские ядра, выделенные из соматических клеток, в результате всех манипуляций с ними репрограммируются в цитоплазме безъядерной яйцеклетки-реципиента так, чтобы активировалась первая программа и развилась бластоциста. Вторая же программа срабатывает далеко не во всех случаях. Возможно, в будущем удастся преодолеть эту проблему. Надежду питают данные, полученные при изучении соматического эмбриогенеза у цветковых растений. Под действием специфических факторов роста в культивируемых вегетативных растительных клетках активируется генетическая программа, ве-

дущая их по эмбриональному пути. В результате из нескольких клеток, морфологически ничем не отличимых от остальных, возникает эмбрион, который развивается в новое растение, полную копию того, из которого были взяты исходные клетки.

Не исключено, что в организме беременной самки тоже вырабатываются специфические факторы роста, которые побуждают соматические клетки к детерминации — выбору пути развития собственно эмбриона. Крайне интересно, что при культивировании эмбриональных стволовых клеток мышей некоторые из них превращаются в оогонии, проходят мейоз, дробление и развиваются до бластоцисты [14]. Это подтверждает возможность активирования в соматических клетках программы образования раннего зародыша. Узнав, какие факторы «запускают» программу соматического эмбриогенеза, мы получим в руки инструмент, с помощью которого можно воздействовать на ядра соматических клеток, пересаженных в пустые яйцеклетки, чтобы пробудить и первую, и вторую программы развития [15].

## Геномный отпечаток

Одно из направлений экспериментальной эмбриологии млекопитающих — поиски у них партеногенеза (способности яйцеклетки развиваться без оплодотворения) — напоминает поиски философского камня. Этим в течение столетий занимались средневековые ученые, и все безрезультатно, но зато были сделаны многие открытия, без которых невозможно представить современную науку. Почти все 20-е столетие ученые, поколение за поколением, с увлечением стремились обнаружить возможность развития полноценного организма из яйцеклетки млекопитающих без участия спер-

матозоида. Ведь бывает же такое в других классах позвоночных! Спонтанно могут развиваться из яйца вполне жизнеспособные особи и у рыб, и у пресмыкающихся, и у птиц, но только не у млекопитающих. Ученые смирились с мыслью, что естественного партеногенеза у этих животных нет, но может быть, его удалось бы вызвать искусственно, как, например, у морских ежей или лягушек. Каким только физическим и химическим воздействиям ни подвергали яйцеклетки млекопитающих, но все напрасно! Итогом долгой и кропотливой работы было заключение: партеногенез в любых его видах у млекопитающих невозможен.

В 1984 г. независимо друг от друга две группы американских ученых пришли к выводу, что материнский и отцовский геномы, передаваемые потомству, качественно дополняют друг друга. Было проведено несколько очень изящных экспериментов по пересадке пронуклеусов (ядер половых клеток с гаплоидным набором хромосом) и искусственному их слиянию, чтобы создать нормальный, двойной, набор хромосом, необходимый для дальнейшего развития яйцеклетки. В результате выяснилось, что и гиногенетические (несущие лишь материнский двойной набор хромосом), и андрогенетические (только с отцовскими хромосомами) эмбрионы не способны полноценно развиваться. Так подтвердилась невозможность партеногенеза у млекопитающих и была доказана обязательность участия в управлении развитием и отцовского, и материнского геномов. Хотя у многих животных оба пронуклеуса эквивалентны, у млекопитающих между ними существуют важные функциональные различия.

Поиски партеногенеза у млекопитающих привели к открытию ядерной памяти, или геномного импринтинга, отпечатка.

Именно он обуславливает активность разных генов в отцовских и материнских хромосомах. Иными словами, одни гены работают только тогда, когда наследуются от отца, а другие — если переданы новому организму матерью.

Такие функциональные различия материнского и отцовского геномов имеют особое значение только у плацентарных млекопитающих [16]. Не связано ли это с какими-то характерными чертами их эмбриогенеза и где искать эволюционные корни столь удивительного механизма?

Теперь, исходя из наличия в онтогенезе млекопитающих личиночной стадии, сходной с той, что присуща паразитическим насекомым, нужно попытаться понять, как она возникла и что, в конце концов, представляет собой весь эмбриогенез млекопитающих. Похоже, он состоит из набора определенных «блоков», которые можно найти в развитии других групп животных, не связанных прямыми эво-

люционными отношениями. И тогда — это аналогия, вторичное сходство, косвенным доказательством которого может быть геномный импринтинг. Благодаря геномному отпечатку обнаруживается подобие событий, происходящих в развитии определенных групп высших насекомых и высших позвоночных.

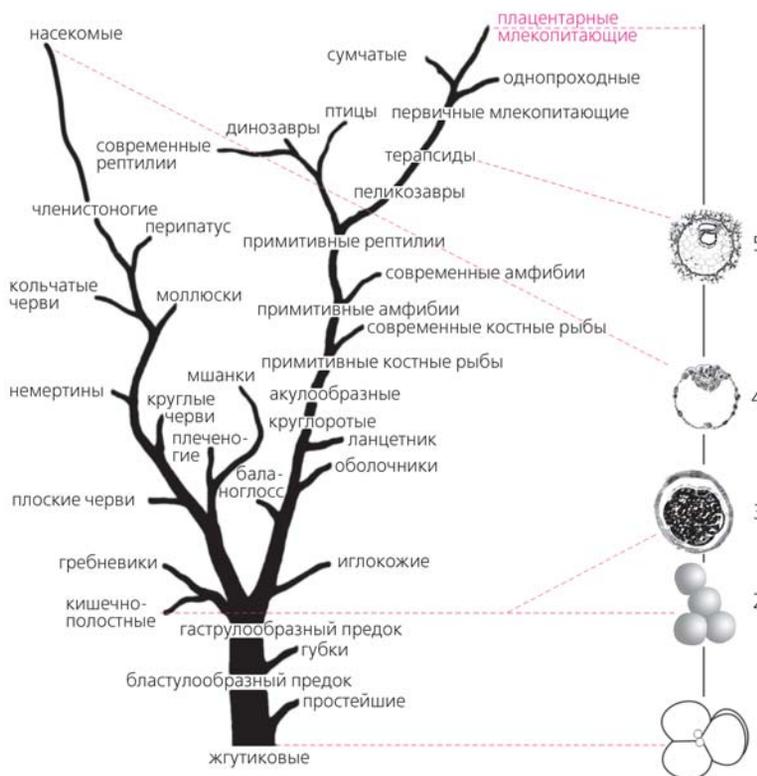
Геномный импринтинг был открыт сначала у насекомых (галлиц, ратных комариков и наездников), затем у млекопитающих, а также цветковых растений. В размножении растений, как известно, чередуются половое и бесполое поколения (гаметофит и спорофит). Удивительно, что одним и тем же организм, независимо от того, к какому миру — животному или растительному — они принадлежат, присущи и геномный импринтинг, и соматический эмбриогенез.

Существование геномного импринтинга у организмов, принадлежащих не только к разным типам одного царства, но и к разным царствам живого,

заставляет вспомнить Э.Жоффруа Сент-Илера, полагавшего, что все разнообразие развития состоит из разных композиций одних и тех же «строительных кирпичиков».

Млекопитающие, это высшее эволюционное достижение, рассматриваются как продукт последовательной эволюции вторичноротых. Но почему же в раннем онтогенезе столь высоко организованных животных решительно перечеркивается сходство с их прямыми эволюционными предшественниками? Почему он будто возвращается к началу и «попутно» вбирает в себя механизмы, присущие развитию организмов, не связанных с млекопитающими филогенетически? Зачем, будучи представителями высших амниот, млекопитающие «вернулись» к давно «забытому» их непосредственными предками способу развития? Создается впечатление, что и «вставка» в половое размножение бесполого произошла не случайно. Она должна иметь большой

**Родословное дерево животного мира и схема раннего эмбриогенеза млекопитающих. 1 — стадия четырех бластомеров, расположенных в виде «палинтомического» креста, сходного с расположением спорозитов при палинтомии у колониальных жгутиковых. 2, 3 — хаотическое дробление и образование морулы, аналогично дроблению у кишечнополостных. 4 — возникновение бластоцисты, паразитической личинки, в которой, как и в паразитических личинках насекомых, идет процесс полиэмбрионии. 5 — формирование собственно зародыша (*embryo proper*), который будет развиваться аналогично эмбрионам других амниот. (Дерево изображено по Вилли К., 1964.)**



смысл для существования млекопитающих как класса. Вероятно, с помощью бесполого размножения в их онтогенез было введено нечто новое, отсутствовавшее у непосредственных предков. Таким новшеством мог быть геномный импринтинг, сопряженный, насколько сейчас известно, с бесполом размножением. А оно, как представляется, входит в качестве определенного периода в онтогенез млекопитающих.

С геномным отпечатком связывают активность или пассивность одних и тех же генов в зависимости от передавшего их родителя. Проявляется эта ядерная память по-разному. Например, у листовых комариков и галлиц отцовский набор хромосом полностью разрушается или во время сперматогенеза, или при дроблении. В первом случае отцовские хромосомы не передаются следующему поколению, во втором — вообще отсутствуют в соматических клетках насекомого.

Необычен импринтинг у паразитических перепончатокрылых насекомых — с его помощью регулируется пол потомства. Считалось, что у большинства этих насекомых пол определяется только количеством хромосом: самцы развиваются из гаплоидных, неоплодотворенных яиц, а самки — из диплоидных оплодотворенных. Однако в экспериментах выявилось иное: из диплоидных, но неоплодотворенных яиц, т.е. несущих только материнскую наследственность, всегда развиваются самцы. У одного вида наездников найдена особая хромосома, передаваемая при оплодотворении самцом, которая «убивает» все другие отцовские хромосомы. В результате, даже если от самки получен двойной набор хромосом, в потомстве будут только самцы. Следовательно, эмбрионы развиваются как самки, если несут отцовский набор хромосом, и как самцы, если этот набор потерян. Отцовские хромосомы в следующем

поколении становятся материнскими, из чего следует, что в установлении пола у наездников участвует механизм геномного импринтинга [17].

У цветковых растений и млекопитающих импринтингом обусловлены фенотипические отличия материнского и отцовского геномов во время развития, но в гаметях, мужских и женских, они представлены одинаково. Кроме того, есть еще одна параллель. У млекопитающих и цветковых растений в развивающемся зародыше формируются ткани, которые обеспечивают поступление питательных веществ от матери. У млекопитающих это экстраэмбриональные мембраны (в частности, трофобласт), а у цветковых растений — эндосперм. Примечательно, что трофобласт образуется при дроблении самой зиготы, а эндосперм возникает отдельно от нее, при слиянии двух гаплоидных материнских ядер с ядром второго сперматозоида ( $2m : 1p$ ). Если в избытке отцовские хромосомы ( $2m : 2p$ ), в эндосперме клеточное деление становится более активным, а если материнские ( $4m : 1p$ ) деление замедляется.

У мышей экстраэмбриональные ткани гиногенетических и партеногенетических эмбрионов ( $2m : 0p$ ) тоже развиваются плохо, но сами эмбрионы — почти нормально. Андрогенетические эмбрионы ( $0m : 2p$ ), наоборот, развиваются слабо, но имеют хорошо развитый трофобласт. В триплоидных человеческих плодах формируется крупная плацента, если дополнительные хромосомы переданы отцом, и слабозрелая, если они унаследованы от матери.

С геномным импринтингом у млекопитающих связаны и разные патологии. Он имеет большое медицинское значение, так как от него зависит исход многих серьезных генетических заболеваний. Однако нет ясного понимания его функций в нормальном развитии. Суще-

ствует гипотеза, что геномный импринтинг возник у млекопитающих в связи с конфликтными интересами материнских и отцовских генов в обеспечении питательными веществами, поступающими от матери к потомству [18]. По гипотезе, если тот или иной локус предпочтительно активен в отцовском геноме, питательные вещества будут поступать из материнского организма в увеличенном количестве. Активные материнские гены, наоборот, снизят интенсивность процесса. В целом же предполагают, что оба набора генов соединяются в зиготе так, чтобы дать жизнеспособное потомство, которое будет размножаться, а следовательно, передавать полученные гены следующему поколению. Возможно, мать сохраняет общий контроль над количеством энергии, вкладываемой в отдельных потомков. Отцовские гены запрограммированы на получение как можно большего количества питательных веществ от матери, а материнские — на сдерживание, иначе вся ее энергия растрачивается только на развивающихся в данную беременность зародышей [18].

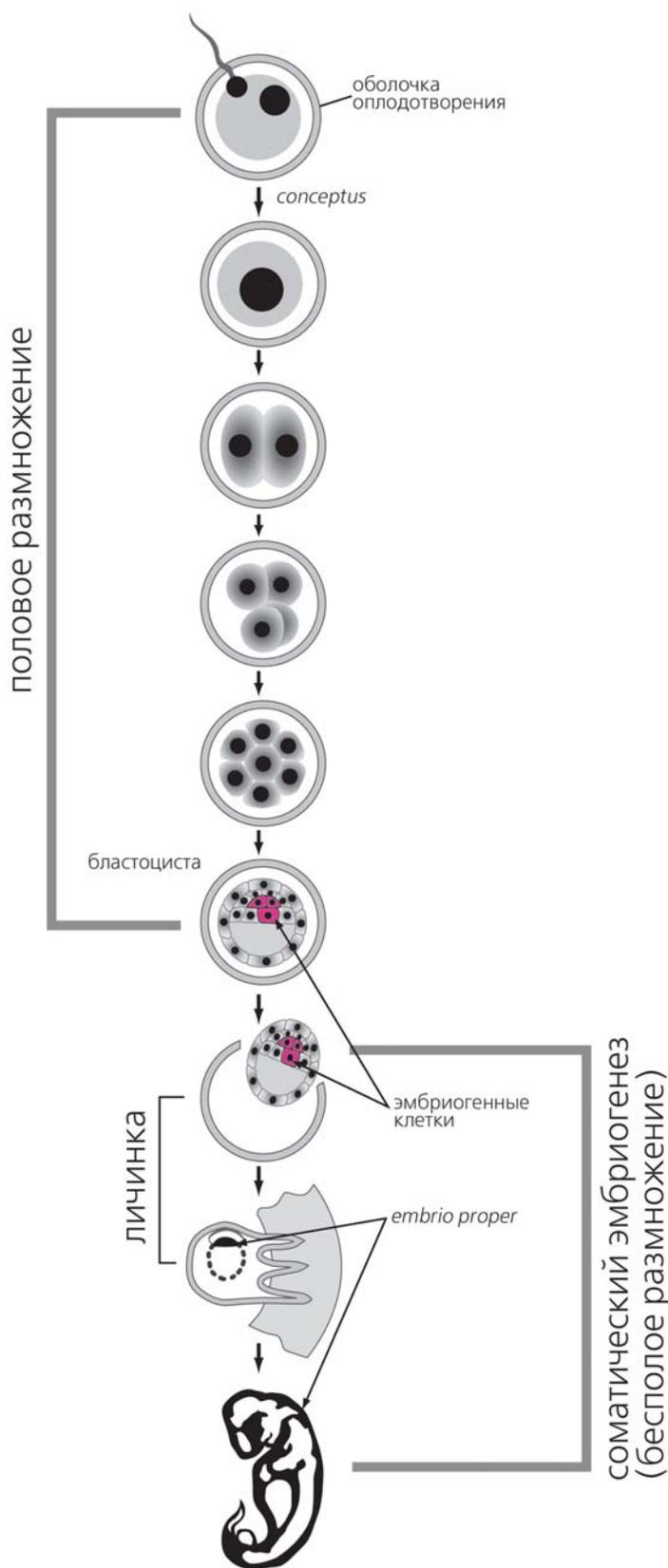
Более того, и после рождения, и в течение всей жизни организм постоянно ощущает на себе влияние геномного импринтинга. Яркий пример, иллюстрирующий зависимость активности генов от их родительского происхождения — болезнь, вызываемая потерей одного локуса 15-й хромосомы. Если это материнская хромосома, развивается синдром Ангельмана (некоординированные движения языка при сосании и глотании, частая рвота), а если отцовская, — синдром Прадер-Вилли (слабое сосание, ведущее к значительному нарушению развития).

Известно, что проявление умственных и социальных качеств человека (поведение в социуме) обусловлено разным функционированием определенных генов, передаваемых от

отца или от матери своим потомкам в зависимости от пола последних. Судя по исследованиям больных детей с нарушением строения X-хромосомы, именно в ней находятся гены, от которых зависят познавательные способности человека и его социальное поведение. Так как сын получает только одну, материнскую, X-хромосому, его умственные и социальные возможности, в первую очередь, наследуются от матери. Иное дело дочери, геном которых формируется X-хромосомами обоих родителей. Здесь вступает в силу механизм импринтинга: материнские или отцовские копии генов, определяющих интеллект и социальное поведение, выключаются.

Есть доказательства, что работающие копии генов, связанных с социальным поведением девочек, находятся на отцовской X-хромосоме, а материнские копии в дочернем организме молчат. В этом убеждают последствия синдрома Тернера — болезни, при которой у девочек имеется лишь одна X-хромосома. Если она получена от матери, дочка, в дополнение к другим аномалиям, оказывается и социально неконтактной, ее поведение более характерно для маленького мальчика. X-хромосома, доставшаяся девочке от отца, обеспечивает поведение, близкое к нормальному. Оказалось, что организм девочки выключает гены на одной из хромосом, а именно на материнской. Следовательно, социальное поведение женщины зависит от отцовской X-хромосомы, которая всегда наследуется дочерью. Информация, которая хранится в материнской X-хромосоме и проявляется у сыновей, не будет считываться в организме дочери [19].

В передаче интеллекта участвуют другие гены на той же хромосоме. Материнские копии некоторых из них активируют рост коры головного мозга, а отцовские, наоборот, тормозят. По-видимому, и девочки,



Схема, иллюстрирующая гипотезу о сочетании в онтогенезе млекопитающих периодов полового и бесполого размножения.

и мальчики получают интеллект от матери [20].

\* \* \*

Итак, для млекопитающих генетический импринтинг необычайно важен. Анализ его проявления у других организмов дает

возможность предположить, что в процессе эволюции этот механизм был введен в онтогенез млекопитающих вместе с формированием нового эмбриона (*embryo proper*). А он развивается за счет полиэмбрионии — разновидности бесполо-

го размножения в бластоцисте, аналогичной личинке паразитических насекомых. Природа не тратилась на изобретение, она составила новую композицию из блоков, уже использованных в онтогенезе других организмов. ■

## Литература

1. Zernicka-Goetz M. // Development. 1998. V.125. P.4803—4808.
2. Grabam C.F., Deussen Z.A. // J. Embryol. Exp. Morph. 1978. V.48. P.53—72.
3. Pedersen R.A. // Nature. 2001. V.409. №6819. P.473—475.
4. Биология развития млекопитающих / М.Манк. Пер. с англ. М., 1990. С.10.
5. Захваткин А.А. Сравнительная эмбриология низших беспозвоночных. М., 1949.
6. Иванова-Казас О.М. Эволюционная эмбриология животных. СПб., 1995.
7. Шмидт Г.А. // Арх. анатомии, гистологии, эмбриологии. 1972. Т.63. С.17—18.
8. Иванова-Казас О.М. // Онтогенез. 1997. Т.28. №1. С.31—40.
9. Johnson M.H., Sellwood L. // Reprod. Feril. Develop. 1996. V.8. P.759—764.
10. Захваткин Ю.А. Эмбриология насекомых. М., 1975.
11. Mintz B. Control Mechanisms in the Expression of Cellular Phenotypes. N.Y., 1970. P.15—43.
12. Markert S.L., Petters R.M. // Science. 1978. V.202. P.56—58.
13. Гилберт С.Ф. Биология развития. М., 1993. Т.1.
14. Hubner K., Fuhrman G., Christenson L.K. et al. // Science Express. 1 May 2003. P.1/10.112.
15. Сахарова Н.Ю., Чайлахян Л.М. // Докл. Акад. наук РФ. 2003. Т.393. №3. С.426—429.
16. Евсиков А.В. // Онтогенез. 2000. Т.31. №3. С.178—191.
17. Haig D. // TREE. 1998. V.13. P.380—381.
18. Moore T., Haig D. // TIG. 1991. V.7. №2. P.45—49.
19. Pagel M. // Nature. 1997. V.387. P.705—708.
20. Keverne B. et al. // Proc. Royal. Soc. L. 1996. V.262. P.689—696.

### Астрономия

#### Венера на фоне солнечного диска

8 июня 2004 г. произойдет интересное астрономическое явление: Венера окажется точно между Солнцем и Землей, и ее темный диск размером в 1/30 солнечного можно будет видеть на его фоне примерно в течение 6 ч. Наблюдениям это событие будет доступно почти на

всей территории России (конечно, при безоблачном небе).

Случаются такие покрытия Венерой Солнца довольно редко — четырежды за 243 года. Впервые их удалось наблюдать в 1631 и 1639 гг. — после того как И.Кеплер сумел предвычислить их наступление. Последний раз покрытие происходило в 1882 г., а 121 годом ранее, в мае 1761 г., его наблюдал М.В.Ломоносов. Он обратил внимание, что при двукратном

прохождении Венеры через край солнечного диска в этих точках очертания Солнца размываются. Это явление было объяснено им как следствие рассеяния света атмосферой Венеры.

Следующее покрытие Венерой Солнца должно произойти в 2012 г., но, к сожалению, увидеть его на территории России не удастся.

ESO Press Release 03/04.  
16 February 2004.

## Биотехнология

### Электрические батареи из бактерий

Дж.Реквера и Д.Ловли (G.Reguera, D.Lovley; Университет штата Массачусетс в Амхерсте, США) предлагают получать электричество из бактерий сульфатредукторов. Как известно, во время дыхания электроны передаются от доноров к акцепторам, а следовательно, возникает ток (функцию акцепторов у большинства организмов осуществляет кислород, у анаэробов же эту роль играют некоторые металлы или органические вещества).

Первое время ученые экспериментировали на монослойных бактериальных пленках, а потом — на колониях в форме толстых пленок, которые состоят из своеобразных колонн, уходящих от поверхности в питательный раствор. Для колоний бактерий вида *Geobacter sulfurreducens* эффективность конверсии глюкозы в электричество оказалась наивысшей на сегодня — 90%. Исследователи ищут оптимальные условия для формирования колоний этих бактерий и пытаются генетически модифицировать их для достижения предпочтительной структуры биопленок и увеличения токового выхода.

Батареи нового типа можно будет использовать, например, для питания глубоководных сенсоров, которые применяют военные или океанологи.

[www.chemweb.com.alchem](http://www.chemweb.com.alchem);  
[http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/3\\_11/index.htm](http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/3_11/index.htm)

## География

### Динамика гор

В сентябре 2001 г. высота Монблана — «крыши» Западной Европы — была определена в 4810.4 м. С того времени, по данным специалистов Национального географического ин-

ститута Франции, высота этой горы сократилась на  $2 \pm 0.1$  м в результате совокупного воздействия теплового нагрева и сильных ветров. Самый остроконечный пик горы сместился на 0.7 м в северо-западном направлении.

С 2004 г. за дальнейшей динамикой горы будет каждые два года следить экспедиция; а состояние ледяного покрова Монблана — отслеживаться по измерениям Глобальной системы позиционирования (GPS) и фотосъемкам.

*Sciences et Avenir*. 2003. №682. P.54 (Франция).

## Организация науки. Археология

### Афганские древности — трудный путь к спасению

Развитые страны и международные организации продолжают заниматься восстановлением памятников афганской культуры<sup>1</sup>. Собраны средства для начала работ по капитальному ремонту Национального музея в Кабуле, который лишился 70 тыс. единиц хранения из 100 тыс. По данным директора музея О.Х.Масуди (O.K.Masudi), возвращено пока лишь 416 предметов. Британский музей в Лондоне за свой счет создал лабораторию по реставрации поврежденных экспонатов. Правительство Греции ассигнует на ремонт и восстановление хранилищ 750 тыс. долл., США на те же цели перевели 100 тыс. долл.

В августе 2003 г. начались работы по ремонту и укреплению скальных ниш в провинции Бамиан, где талибы разрушили почитаемые буддистами скульптуры, простоявшие 1700 лет. На восстановление

<sup>1</sup> См. также: Как возродить афганские древности? // Природа. 2003. №1. С.88; Восстановление афганских памятников // Природа. 2003. №8. С.51.

здешних фресок Япония пожертвовала 1.8 млн долл. Италия и Швейцария выделили средства на укрепление шедевров староисламской архитектуры — Джамского минарета и одного из пяти минаретов знаменитого комплекса Мусалла в Герате.

Однако все эти усилия не отвечают масштабам бедствия. По некоторым оценкам, размах нелегальной торговли афганскими ценностями превышает даже те, что связаны с контрабандой опиума, т.е. исчисляются десятками миллионов долларов в год. Словом, надо использовать все возможности, чтобы спасти хотя бы часть культурных и исторических ценностей.

*Science*. 2003. V.301. №5626. P.25 (США)

## Археология

### Рисунки австралийцев-аборигенов

В 1995 г. некто, вернувшись из кустарниковых зарослей, расположенных в сотне километров от Сиднея, в захолустье национального парка «Уоллеми», поведал о том, что наткнулся на стоянку древнего человека, рядом с которой есть пещера, где «на стенах что-то нарисовано». Тотчас же палеоантрополог П.Такон (P.Tacon; Австралийский музей в Сиднее) отправился к урочищу Иглс-Рич — так значилась на подробных картах данная местность в штате Новый Южный Уэльс. Однако в течение восьми лет то наводнения, то лесные пожары, то жесточайшие засухи не позволяли добраться до этой «картинной галереи».

Наконец в 2003 г. Такон и консультант-археолог У.Бреннан (W.Brennan) добились успеха. Но прежде им пришлось испросить разрешения у местных аборигенов на пребывание в священных для них мес-

тах, которое они еще не всякому дают. Но внезапные проливные и длительные дожди опять сделали кустарниковую заросль непроходимой. В конце концов исследователи добрались до урочища Иглс-Рич. На стенах и сводах пещеры древесным углем запечатлены 203 изображения ящериц, кенгуру и странных существ — полулюдей-полуживотных. Нынешние аборигены ничего по этому поводу рассказать не смогли. Специалисты, которым были вручены образцы соскобленного угля и фотографии рисунков, утверждают, что их возраст около 4 тыс. лет. Предстоящее детальное исследование должно ответить на возникшие вопросы.

Science. 2003. V.301. №5632. P.461 (США).

### Археология

#### Английское искусство каменного века

Образцы наскальной живописи эпохи палеолита обнаружены в Великобритании, в пещерах Кресуэлл-Крегс (графство Дербишир). То, что люди обитали здесь в конце последней ледниковой эпохи (около 12 тыс. лет назад), было известно и ранее, но их «картинная галерея» оставалась незамеченной. Лишь после того, как в одной из пещер нашли кость с какими-то нацарапанными значками, археологи С.Риполл (S.Ripoll; Национальный заочный университет в Мадриде) и П.Петтит (P.Pettit; Оксфордский университет, Великобритания) вместе с независимым английским исследователем П.Баном (P.Bahn), применив специальное освещение, обнаружили петроглифы. Один из этих рисунков, по-видимому, изображает горного козла, встречав-

шегося тогда по всей Европе, а еще два, менее отчетливых, — фигуры птиц.

Если древность находки подтвердится, придется признать, что пещерное искусство в палеолите существовало и в относительно северных районах Европы (до сих пор петроглифы, относящиеся к этому периоду, находили как минимум на 450 км южнее — на северо-западе Франции)<sup>1</sup>.

Antiquity. 2003. June; Science. 2003. V.300. №5628. P.2028 (США).

### Организация науки. Океанология

#### Перспективы программы океанского бурения

В октябре 2003 г. Национальный научный фонд США принял решение выделить 626 млн долл. Объединенному океанографическому институту для выполнения Международной программы океанского бурения на следующие 10 лет. Помимо американцев, в ней будут участвовать ученые из Японии; ведутся также переговоры об условиях присоединения к проекту специалистов из европейских стран.

Первоначально рассматривался вопрос либо о модернизации научно-исследовательского судна «ДЖОИДЕС Резолюшн», отлично проявившего себя в предыдущих рейсах, но уже морально устаревающего, либо о приобретении нового корабля. В конце концов было решено продолжить эксплуатацию уже имеющегося плавсредства. В Японии тем временем идут работы по сооружению значительно большего судна — «Chiku», которое

<sup>1</sup> См. также: Наскальные изображения в пещере Арси-сюр-Кюр // Природа. 2001. №4. С.91.

должно быть готово к концу 2006 г., а пока эта страна обязалась продолжить финансирование деятельности «ДЖОИДЕС Резолюшн». Отказ от полной модификации этого судна, а тем более от приобретения нового, связан с тем, что правительство США не предоставило Национальному научному фонду необходимые для этого 100 млн долл.

Во избежание серьезного пробела в научных данных американские геофизики, сейсмологи и климатологи намерены возобновить экспедиции на судне «ДЖОИДЕС Резолюшн» в июне 2004 г. Первым районом исследований намечена северо-западная акватория Тихого океана, где в сентябре 2003 г. завершился его последний рейс. Вероятно, серия дальнейших двухмесячных экспедиций продлится до осени 2005 г. Если Конгресс США изыщет в 2004 г. необходимые средства, то Объединенный океанографический институт либо приобретет новое судно, либо начнет модернизацию старого, чтобы приступить к работе в Мировом океане осенью 2006 г. В случае финансовой поддержки со стороны Европейского консорциума Международная программа океанского бурения будет возобновлена в более ранние сроки.

Головные учреждения США в этом проекте — Обсерватория Ламонта и Доэрти по изучению Земли (Палисейдс) и Университет штата Техас (Остин).

Обсуждается также проблема бурения летом 2004 года в тех бассейнах Северного Ледовитого океана, глубинное строение дна в которых до сих пор оставалось слабо изученным. Эти работы станут частью той же Международной программы. Science. 2003. V.302. №5643. P.213 (США).

# Сильнейшие исторические землетрясения на Алтае и сейсмический потенциал региона

А.А.Никонов,  
доктор геолого-минералогических наук  
Институт физики Земли им.Г.А.Гамбурцева РАН  
Москва

*Памяти Алексея Андреевича Никонова, моего отца, геолога, много лет посвятившего изучению Алтая*

*...лежащие друг на друге, от других рассединами отделенные гранитные кабаны, кои друг на друга как бы налитыми быть кажутся, равновесие.. потеряли, и может быть через потрясения, кои Алтайский хребет весьма часто претерпевать долженствовал, побуждены были к низриновению.*

И.М.Ренованц (Ревель, 1788)

Сильное и неожиданное землетрясение на юге Алтая осенью 2003 г. взбудоражило общественность, в том числе и научную, и, как бывает в подобных случаях, привело к ряду публикаций с характеристиками самого события и его последствий. В начале этого года и в «Природе» была опубликована статья новосибирских сейсмологов, оказавшихся в гуще событий [1]. Произшедшее землетрясение высветило некоторые научные вопросы, заставило пристальнее оценить ситуацию и перспективы. Но сделать это можно только на основе не менее тщательного изучения ретроспективы.

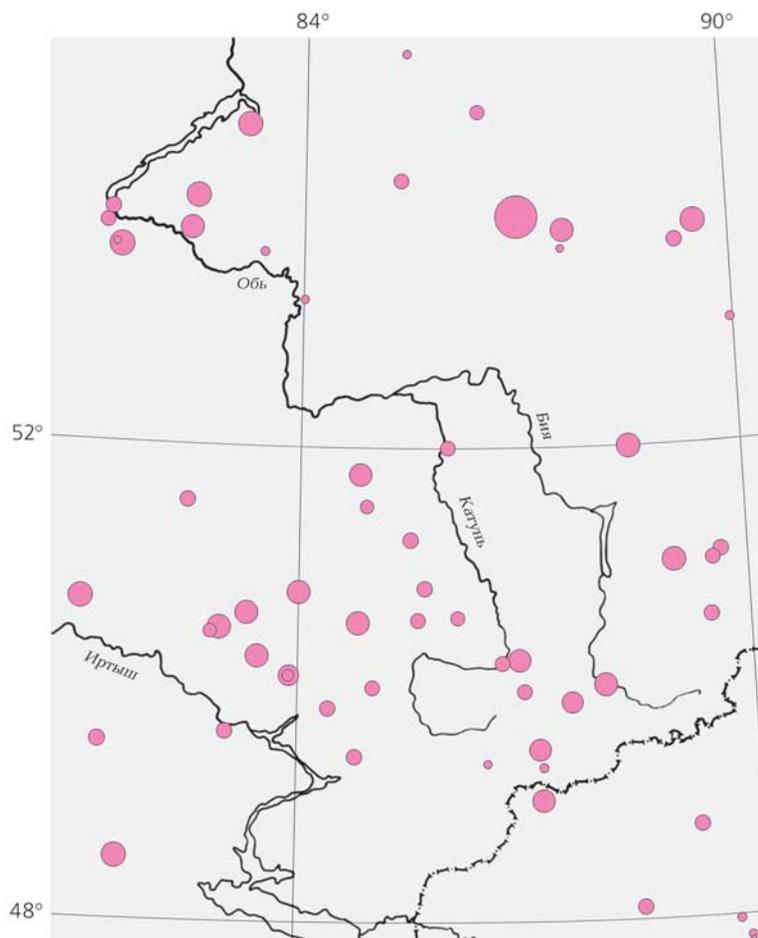
## Крупнейшие исторические события

Южный Алтай (в пределах России), как и Монгольский Ал-

тай, традиционно был далекой окраиной государства с редким кочевым, лишенным письменности населением. Слабая заселенность и отсутствие поступления регулярных сведений в тогдашние местные и столичные центры, конечно, сильно ограничивают возможности познания исторических землетрясений. Однако кое-какие отголоски древних алтайских сейсмических событий до нас все же дошли. Ученые-путешественники XVII—XVIII вв. донесли легенду аборигенов о некоем подземном чудовище, производящем при неосторожных движениях сотрясения. Одно из более конкретных сказаний, записанное в конце XIX в., повествует о катастрофическом землетрясении, при котором священная гора за облаками сотряслась так, что вокруг все разом обрушилось и образовалась болотистая низменность. Это вполне «тянет» на 9—10 баллов. Раскопав эти сообщения, я двадцать лет назад писал

о возможности получить «дополнительные сведения о повторяемости и предельной интенсивности землетрясений в данной области, все еще очень слабо изученной и, может быть, поэтому считающейся не слишком опасной» [2. С.40].

Освоение западных и северных частей Русского (Горного) Алтая началось лишь с середины XVIII в. и было связано, прежде всего, с рудными богатствами. Именно в это время (и позже) в бассейне Верхнего Иртыша и левобережных притоков Верхней Оби заложен целый ряд рудников, что потребовало создания защитных линий — укрепленных форпостов, «станцов», редутов и крепостей. Так возникли, помимо Иртышской, Кольванская, Бийская и Кузнецкая линии. Но собственно южный (Русский) Алтай оставался неосвоенным вплоть до XX в., да и поныне он мало заселен. Самые ранние прямые сведения о примечательных природных



Карта эпицентров землетрясений на Алтае (до 70-х годов XX в.).  
Размер кружков пропорционален силе соответствующего землетрясения.

процессах, в первую очередь о землетрясениях (и только самых крупных), представлены более чем за два с половиной века и ограничиваются сообщениями с западного и северного флангов региона. Да и в XX в. информация о землетрясениях, обычно умеренной силы (максимум до 7 баллов), поступала из северных районов — Кузнецкого бассейна, окрестностей г.Бийска, а также из Рудного Алтая на границе с Казахстаном.

Великий географ и натурфилософ Александр фон Гумбольдт, проехавший в сопровождении нескольких спутников в коляске по алтайским трактам в 1829 г., написал в отчете о своем путешествии, что Алтай подвержен земным сотря-

сениям от отдаленных землетрясений, рождающихся в Байкальской обл. на востоке и в Небесных горах (Тянь-Шане) на западе. Видимо, не успел он разузнать у местных государственных и горных чиновников о столь экзотических явлениях. Представления столь высокого авторитета распространились в Европе. Между тем местные служилые не могли не знать, как сотрясался весь Алтай за 60 и 70 лет до посещения его всемирным географическим светилом.

Мы остановимся лишь на сведениях о сильнейших исторических сотрясениях именно в южной части Алтая, порожденных мощнейшими сейсмическими толчками, очаги которых расположены за границами на-

шей страны, в пределах Монгольского Алтая. До последнего времени им не уделялось необходимого внимания, во всяком случае в отечественной литературе, хотя по ним, по существу, и должна была определяться (до самого конца XX в.) сейсмическая опасность данного региона.

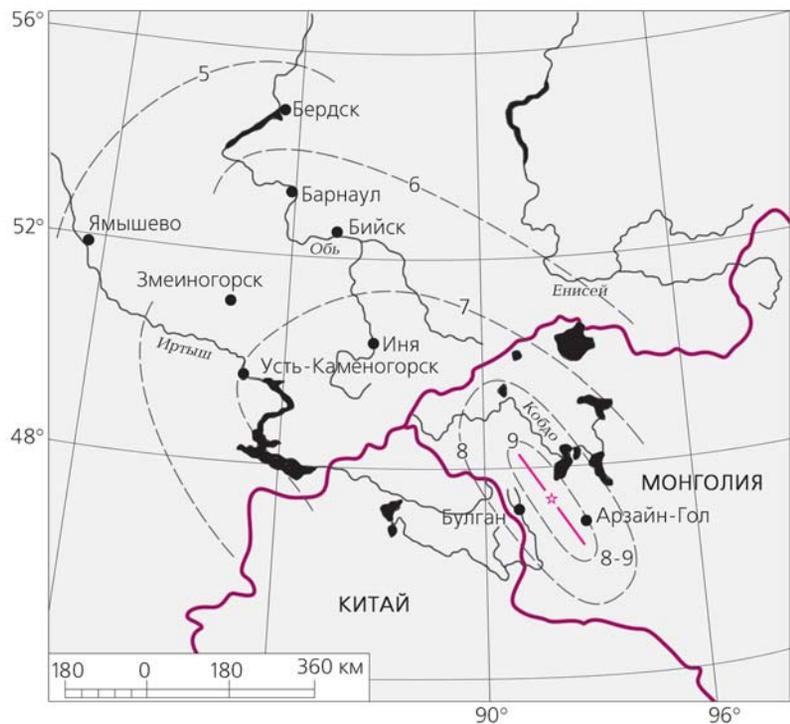
Первое из событий — землетрясение 1761 г., разразившееся 9 декабря [нов. стиль] и охватившее всю российскую территорию Алтая, вплоть до основного Сибирского пути на севере (т.е. Томскую губ.). В те времена о событиях подобного рода управляющие с мест обязаны были сообщать «по начальству» — в канцелярии генерал-губернатора и горного ведомства, где в 70-х годах прошлого века эти донесения и разыскал известный сибирский сейсмолог Н.Д.Жалковский. Кроме того, нам удалось обнаружить интересную информацию в «Санкт-Петербургских ведомостях», ибо генерал-губернатор, конечно, по обязанности передавал ее в столицу.

Тщательная обработка добытых сведений дала возможность установить, что в районе современного Новосибирска (г.Бердск) сотрясения достигали или даже превышали 5 баллов, в окрестностях Барнаула — 6, Бийска — 6—7. В долине Иртыша вблизи г.Семипалатинска они составили 6 баллов, а у Усть-Каменогорска — 7.

Вот что писал тогдашний комendant Усть-Каменогорской крепости: «Ноября 28 дня [ст. стиль] в вечеру несколько офицеров... в 8 часу почувствовали, что лавка жестоко потряслась... вскоре потом заметили, что от землетрясения и весь дом потрясся, и косяки, и двери трещали. Тогда мы все выбежали вон, боясь, чтоб дом нас не задавил. Как скоро вышли мы на улицу, то услышали, что часовой, стоящий на деревянной башне, кричал, что башня и все крепостное строение трясется. Спустя около 12 минут землетрясение утихло, не причинив никакова вреда, кроме что деревянное

строение в пазах несколько повредилось; но как я вошел в избу, то увидел, что книги мои, стоявшие на полке у стены... лежали на полу...» [3]. Несомненно, слабые повреждения строений произошли только потому, что здания в крепости, как и во всем регионе, сооружались только крепкие, бревенчатые, повышенной сейсмостойкости (то же отмечали и наши новосибирские коллеги, описывая эпицентральную зону землетрясения 2003 г.). Насколько можно судить по распределению силы сотрясений, области равных сотрясений на Алтае вытянулись в северо-северо-западном направлении. В верховьях рек Катунь и Бия — там, где располагался очаг землетрясения 2003 г. — интенсивность сотрясений в 1761 г. достигала 8 баллов, причем на значительно большей площади.

Монгольские сейсмологи уже в 80-е годы 20-го столетия произвели опрос населения на Монгольском Алтае, и совместно с российскими учеными обследовали предполагаемую эпицентральную зону [4]. Выяснилось, что память об ужасном землетрясении передавалась местными скотоводами из поколения в поколение. По устным преданиям, удалось установить несколько участков, где сохранились крупные нарушения рельефа: падения крупных глыб на склонах гор, погребенные под каменным обвалом юрты кочевников, места, в которых «с гор падало так много камней, что из земли торчали макушки деревьев». Тут уж речь идет о силе сотрясений не менее 8–9 баллов. Между истоками рек Кобдо и Булган (Булгун) была обнаружена молодая (геологически) система сейсмодислокаций северо-западного простирания длиной свыше 200 км — правосторонний сдвиг, по которому горизонтальное смещение составляло в среднем около 4 м (максимум до 7), а вертикальное — 1,5 м (максимум до 3). Возраст разрыва и подвижек по



Сейсмический эффект землетрясения 9 декабря 1761 г. Звездочкой отмечен его эпицентр. Изосейсты на территории Русского Алтая проведены ориентировочно; данные по эпицентральной зоне в Монголии показаны по [4].

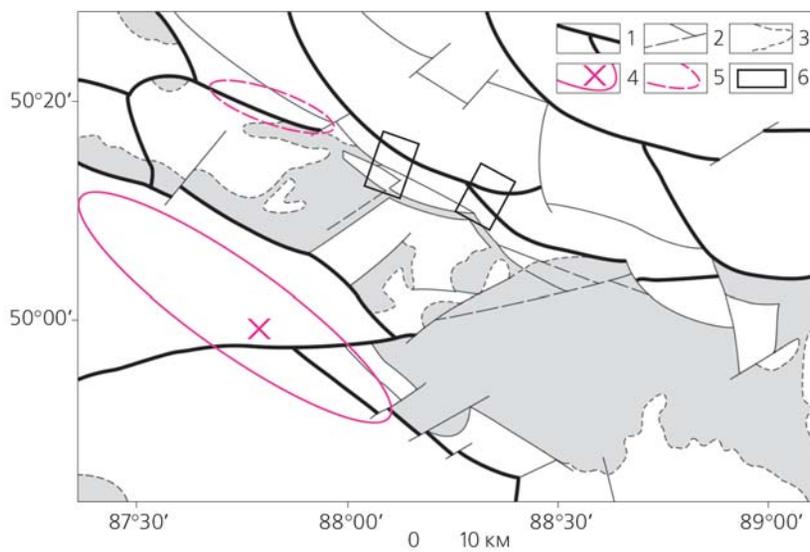
нему определить не удалось, поэтому исследователи относят его к событию 1761 г. с понятной осторожностью. Но, во всяком случае, речь идет о весьма крупной сейсмодислокации, расположенной в обрамлении участков со склоновыми нарушениями, скорее всего 1761 г.

Исходя из размеров палеосейсмодислокации и считая ее созданной именно (и только) землетрясением 1761 г., сибирские палеосейсмологи определили его интенсивность в 11 баллов [4], а магнитуду величины 8.0 (8.3).

Учитывая эти данные, неправомерно идентифицировать крупные сейсмодислокации, обнаруженные в Курайской впадине на р. Чуя, с землетрясением 1761 г. и помещать туда его эпицентр [5, 6]. Более вероятно принадлежность тех сейсмодислокаций местному сильному землетрясению 1771 г., макросейс-

мические сведения о котором поступили только из пунктов Рудного Алтая, в то время уже освоенного (в отличие от глубинных частей Русского Алтая).

Следующее очень сильное землетрясение, названное Монголо-Алтайским (Фуюнским), разразилось 10 августа 1931 г. Согласно базовому каталогу [7], его магнитуда составляет 7.8 ( $\pm 0.5$ ), а интенсивность в эпицентре  $9 \pm 1$  баллов. Сам эпицентр помещен на границе Монголии и Китая, примерно в 280–300 км от российской территории. И в этом случае (т.е. 170 лет спустя после предыдущего) прямых сведений о сотрясениях из южной части Русского Алтая не получено. Судя по сообщениям из некоторых пунктов Рудного Алтая [8], в верховьях Иртыша, на границах Алтайского края, Казахстана и Китая, сотрясения составляли не менее 6 баллов (в г. Зырянское



Неотектоническая схема Курайско-Чуйской системы межгорных впадин [12, с дополнениями]. 1 — основные разломы, 2 — второстепенные разломы, 3 — границы бассейнов кайнозойской седиментации, 4 — эпицентр и очаговая зона землетрясения 27 сентября 2003 г., 5 — область крупных палеосейсмодислокаций, обследованных группой новосибирских геологов (возможная эпицентральная зона землетрясения 1771 г.), 6 — участки с крупными сейсмообвалами.

5—6). Вполне ощутимы они были в городах Усть-Каменогорске, Семипалатинске, Бийске на севере Алтая (3—4 балла). В южной части Русского Алтая, в эпицентральной области землетрясения 2003 г., сотрясения, ско-

рее всего, составляли около 7 баллов. И в этот раз область основных толчков оказалась вытянутой в северо-западном направлении, но на север она распространилась не столь далеко, как в 1761 и 2003 гг.

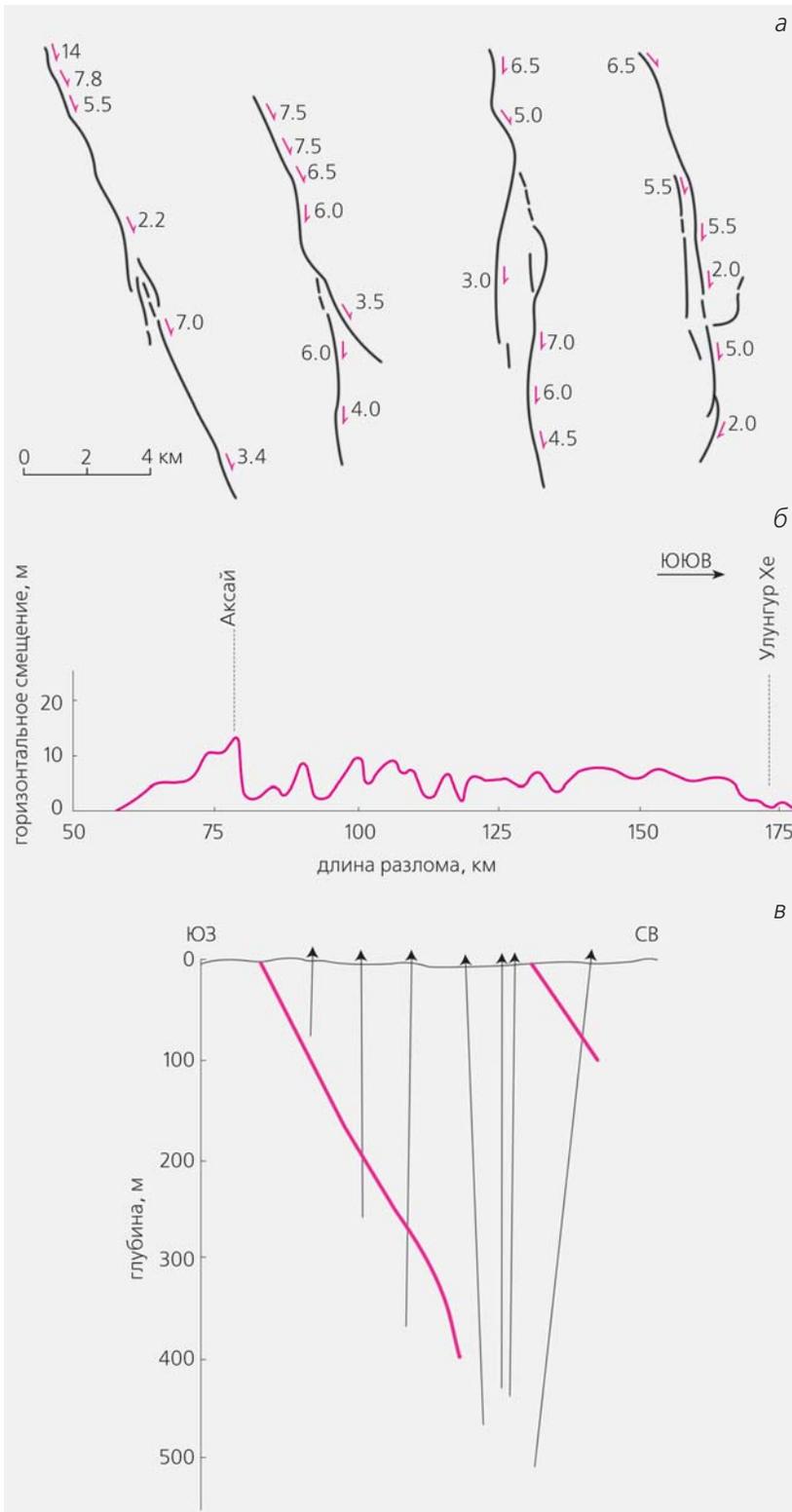


Один из участков выхода на поверхность разрыва, обновившегося при Фуюнском землетрясении 1931 г. [10].

В первой половине XX в. сведения из эпицентральной области получены более достоверные. Приведем ставшие известными свидетельства очевидцев из г.Богдо, где в то время располагалась база Советско-Монгольской экспедиции, опубликованные, кстати, в «Природе» [9]. Основной удар разбудил всех спавших, глиняные заборы на улицах повалились. В некоторых домах из сырца наклонились стены и массивные столбы ворот, падали дымовые трубы, внутри зданий с полок сваливалась посуда. В советском консульстве в нескольких комнатах обвалились части потолков.

Это признаки сотрясений около 7 баллов, зафиксированных в Монголии, на расстоянии около 20 км от российской границы. Сообщалось о сотрясениях в пос.Кош-Агач на р.Бия (в эпицентральной зоне землетрясения 2003 г.), но, к сожалению, без подробностей. К востоку и юго-востоку от г.Кобдо сила сотрясений затухала (около 6 баллов). Но к югу толчки возрастали, и там наблюдались сильные нарушения земной поверхности, вплоть до изменения русла рек.

Истинный масштаб событий в области эпицентра, который оказался около китайского г.Фуйюн, выяснился только к концу 70-х годов [10]. Эпицентральная зона расположилась на пересечении крупных разломов субмеридионального и северо-западного простираний с ясными признаками правосторонних смещений. Группа китайских исследователей спустя десятилетия распознала и изучила сохранившийся разрыв 1931 г., длина которого на поверхности земли составила 176 км. Ученые применили методы лихенометрического (по лишайникам) и радиоуглеродного датирования сейсмодетформаций от нескольких сильных землетрясений в этой зоне и получили средний для четырех высокомагнитудных событий (включая и событие 1931 г.) интервал повторения —



Разлом Фуюн, по которому произошло землетрясение 1931 г. а — разрывы при землетрясении с величинами горизонтального смещения (м), б — распределение горизонтальных сдвиговых смещений вдоль новообразованного разрыва [10], в — положение разлома Фуюн (цветная линия слева) на глубине, по данным буровых скважин (показаны стрелками) [15].

230 лет. Количественные характеристики поверхностного разрыва позволили уточнить параметры землетрясения 1931 г. Вместо значений интенсивности  $I=9(\pm 1)$  и магнитуды  $M=7.8(\pm 0.5)$  получены  $I=11$  и  $M=8$  [10], т.е. землетрясение оказалось даже более сильным, чем считалось [7].

Очаги крупнейших землетрясений 1761 и 1931 гг. настолько протяженны (170–215 км) и структурно предопределены субмеридиональными разломами, что оперировать в таких случаях точечными эпицентрами и соотносить их с узлами пересечения разломов разных направлений, на наш взгляд, неоправданно [11]. То же применимо и к событию 2003 г. (относительно более слабому), при котором очаг вытянулся на несколько десятков километров. Российским исследователям еще предстоит немало поработать, чтобы выявить все сейсмогенерирующие зоны Русского Алтая.

### Более широкий взгляд

Чем полезен вышеприведенный экскурс в прошлые сильнейшие землетрясения для понимания недавно пережитого алтайского катаклизма и для предвидения будущих? Чтобы осветить этот вопрос, придется кратко коснуться еще двух аспектов.

До сих пор мы рассматривали только сильнейшие события, от 9 баллов. Между тем на Алтае за последние 250–300 лет происходили (и обязательно будут происходить) землетрясения умеренной силы, скажем, до 7 баллов. Такие толчки фиксировались в разных местах Алтая, например у городов Бердск (1882), Кузнецк (1898, 1903), Камень-на-Оби (1965).

Конечно, подобные события не парализуют жизнь, но сумятицу могут внести существенную, поскольку возникают значительно чаще, и к тому же в районах современной, а не

традиционной (деревянной) застройки с гораздо более плотным населением.

Немалую роль в прогнозах сейсмической ситуации играют такие научные направления, как сейсмогеология и палеосейсмогеология. Ныне концептуальная основа наших знаний и конкретные факты доказывают, что мощной движущей силой динамических явлений, в том числе и землетрясений, в этом регионе служит субмеридиональное сжатие, реализующееся в виде сдвигов (с разворотом, проскальзыванием, выдавливанием) разномасштабных блоков определенной ориентировки. Они образуют субмеридиональный рисунок в пределах Монгольского Алтая (и прилежащих частей Китая), который меняется на северо-западный при переходе к Русскому и Рудному Алтаю [12]. Недаром огромные очаги южных землетрясений 1761 и 1931 гг. были вытянуты субмеридионально, тогда как очаг последнего Алтайского — в северо-западном направлении, хотя во всех случаях смещения характеризовались праводвиговыми подвижками.

Еще в 20-е годы 20-го столетия шли жестокие споры о том, считать обнаруженные на Алтае альпийские нарушения эндо- или экзотектоническими? Ныне же геологические признаки активной жизни некоторых разломов, вплоть до позднего плейстоцена (в том числе и унаследованные от палеозойского этапа) задокументированы в основном в виде взбросов и надвигов вдоль субширотных разрывов на юге, северо-западных — в обрамлении Чуйской впадины и субмеридиональных — во впадине Телецкого озера. Они секут моренные отложения среднего плейстоцена, а на юге Алтая — даже пойменные отложения [6, 11, 13]. Следовательно, не только новейшая (в пределах последних десятков миллионов лет), но и совсем молодая (от нескольких сотен до десятков тысяч лет) активность разрыв-

ных смещений здесь должна считаться доказанной. А это означает наличие прямых и независимых предпосылок для отнесения региона (во всяком случае отдельных его частей) к области высокого сейсмического потенциала.

Несколько лет назад, благодаря специальным палеосейсмогеологическим исследованиям под руководством Е.А.Рогожина на Русском Алтае обнаружены палеосейсмодеформации, связь которых с крупными землетрясениями теперь не вызывает сомнений [5, 6, 12]. Разрывы в виде уступов, трещин (клиньев), а также обвалы, оползни изучены в Самахинско-Джасаторской и Курайской депрессиях в пределах южного Алтая и в Чарышской зоне на западе Алтая. В каждой обнаружены следы нескольких крупных (с магнитудой, равной 7 на юге и 6 — на западе) сейсмических событий в голоцене. На основании серий радиоуглеродных датировок авторы оценивают интервалы повторения сильнейших землетрясений в 1—3 тыс. лет. Такой, относительно успокоительный, вывод мог быть сделан на первой стадии изучения. Представляется весьма вероятным, что со временем его придется уточнить в сторону сокращения интервалов между разрушительными землетрясениями до сотен лет (как это считается для соседних Джунгарии и Тянь-Шаня).

В целом сейсмический потенциал региона определен как очень высокий, что и подтвердилось землетрясением 2003 г. (которое, правда, произошло в стороне от предполагаемых палеосейсмических зон).

## Что впереди?

В последние десятилетия сейсмологи учатся рассматривать каждое крупное землетрясение не только как единичное, важное само по себе событие, но и как составной элемент дол-

говременного сейсмического (сейсмогеологического) процесса в определенной геотектонической области (структуре, среде). Взглянем и на Алтайское землетрясение 2003 г. с этих позиций, хотя в отличие от других высокосейсмических областей Евразии (Кавказа, Копетдага, Тянь-Шаня, Курило-Камчатского желоба) гео- и сейсmodинамика Большого Алтая известны слабо. Давно установлено, что зарубежный Алтай обладает значительно более высоким сейсмическим потенциалом (максимальной возможной магнитудой землетрясений, частотой их повторяемости и поражающим эффектом) по сравнению с Русским Алтаем. Самые мощные землетрясения в этом регионе связаны с крупными сдвиговыми разрывными зонами.

В последние столетия работали зоны субмеридионального протяжения в Монгольском Алтае. Ныне активизировалась зона, расположенная значительно севернее. Подобный процесс известен и в других сейсмогенных областях, так или иначе обусловленный движением к северу Индийской и Аравийской плит. В Монгольско-Китайском секторе Алтая в 1761 и 1931 гг. вспоролась две высокомагнитудные близпараллельные зоны разломов первого порядка. На Русском Алтае (где также установлено несколько аналогичных зон, но уже северо-западного простирания) пока активизировалась одна, не числившаяся в разряде главнейших (если вообще распознанная). Логично допустить, что могут появиться и другие [14], параллельные ей сдвиговые зоны (например, Курайская — по северо-восточному окончанию одноименной впадины). В перспективе надо быть готовыми к распространению сейсмической активности к северу, в более населенные и освоенные части Русского Алтая.

Мы отмечаем перелом структурного рисунка от субмеридионального в Монгольском Алтае

к ориентированному в северо-западном направлении в пределах Русского Алтая. Не случайно землетрясение 2003 г. имело магнитуду на порядок (т.е. энергию в 20–30 раз) меньше, чем землетрясения последних столетий в Монгольском Алтае. С геоструктурной точки зрения представляется вероятным, что происходит общее снижение сейсмического потенциала к северу. Если так, то событие 2003 г. — скорее всего, максимально возможное по мощности на юге Русского Алтая. Подобные толчки

в обозримом будущем могут произойти западнее и восточнее, по зонам параллельных разломов (например, вдоль курайской зоны) и далее к северу (на их продолжениях). В качестве прообраза северной миграции сейсмических очагов можно рассматривать перенос очага землетрясения 1761 г. в Монгольском Алтае на Русский Алтай в 1771 г. Несомненно, подобные построения могут быть подтверждены (уточнены или опровергнуты) лишь при целенаправленном исследовании региона.

Землетрясение 2003 г. можно уподобить набатному колокольному звону на южных рубежах Сибири, возвестившему о вторжении вражеской сейсмической силы с юга и о ее продвижении на север, к местам более обжитым и уязвимым. Прислушаться к прозвучавшему сигналу и подготовиться к этой опасности в наших силах. ■

**Работа выполнялась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 00-05-64274.**

## Литература

1. Новиков И.С., Высоцкий Е.М., Агатова А.Р., Гибшер А.С. Землетрясения в Горном Алтае и сейсмогеология Большого Алтая // Природа. 2004. №3. С.19–26.
2. Никонов А.А. Землетрясения. Прошлое, современность, прогноз. М., 1984.
3. Санкт-Петербургские ведомости. 1762. 8 марта, 30 апреля.
4. Хилько С.Д., Курушин Р.А., Кочетков В.М. и др. Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии // Труды совместной советско-монгольской научно-исследовательской геологической экспедиции. Вып.41. М., 1985.
5. Рогожин Е.А., Богачкин Б.М., Нечаев Ю.В. и др. // Физика Земли. 1998. №3. С.75–81.
6. Рогожин Е.А., Платонова С.Г. Очаговые зоны сильных землетрясений Горного Алтая в голоцене. М., 2002.
7. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР / Под ред. Н.В.Кондорской и Н.В.Шебалина. М., 1977.
8. Бабищев С.М. Отзвуки Памирского землетрясения // Записки Семипалатинского отдела общества изучения Казахстана. Вып.III. 1931. С.139–146.
9. Обручев В.А. Землетрясение в Монголии // Природа. 1932. №8. С.754.
10. Shi Jiangbang, Feng Xianyu, Ge Shumo et al. The Fuyun earthquake, Xinjiang, China // A collection of papers of International Symposium on continental seismicity and earthquake prediction. Beijing, 1984. P.325–346.
11. Лукина Н.В. // Геология и геофизика. 1996. Т.37. №11. С.71–74.
12. Новиков И.С., Агатова А.Р., Дельво Д. // Геология и геофизика. 1998. Т.39. №7. С.965–972.
13. Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии / Под ред. А.Ф.Грачева. М., 2000.
14. Новиков И.С. // Геология и геофизика. 2001. Т.42. №9. С.1377–1388.
15. Yan Shengbao, Zhang Zhaochong, Wang Deng et al. Kalatongke magmatic copper-nickel sulfide deposit // Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan. 2003. P.131–151.

# Флегрейские поля

Г.Ф.Уфимцев,

доктор геолого-минералогических наук  
Институт земной коры СО РАН  
Иркутск

Звучное название, почти как Елисейские поля. Моя первая заочная встреча с ними состоялась в 1959—1960 гг., когда я, будучи студентом Горного института в Екатеринбурге, приобрел в букинистическом магазине двухтомник «История Земли» Мельхиора Неймара (СПб., 1903—1904). Думаю, что этот труд, наряду с «Физической геологией» И.В.Мушкетова (СПб., 1891), сыграл главную роль в распространении геологических знаний в нашем Отечестве. Из этой книги в душу вошло навсегда описание Флегрейских полей и желание увидеть их собственными глазами. И вот более чем через 40 лет мечта осуществилась.

В северо-западной части Неаполитанского залива береговая линия образует вогнутую дугу, ограниченную с востока о.Низида, с запада — мысом Мизено. Здесь располагается небольшой открытый залив Поццуоли. Прибрежная часть суши вокруг залива называется Флегрейскими полями, протяженность которых в субширотном направлении не превышает 8 км. Небольшая территория просто насыщена историческими и геологическими памятниками. Причем последние оказались такими яркими примерами

многих геологических процессов, что на базе их собственных названий возникли специальные термины, описание которых фигурирует в различных учебниках вот уже на протяжении более чем 170 лет. Еще до новой эры о них писал Страбон, а в первом столетии нашей эры — Плиний Старший.

Показанные на старой карте городки Баньоли, Поццуоли и Байя сильно расширились и слились с Неаполем. От центрального вокзала до Поццуоли можно за полчаса проехать на поездах Метрополитано (не что среднее между метро и электричкой). Все побережье залива Поццуоли — современный город с жилыми кварталами и промышленной зоной, но здесь постоянно сталкиваешься с историческими и геологическими объектами. Спускаясь к берегу от станции метро, проходишь мимо амфитеатра Нерониано-Флавио, построенного во времена императоров Нерона и Веспасиана и вмещавшего 20 тыс. зрителей. Впереди — живописные развалины знаменитого храма Сераписа. С небольшой площадки над берегом слева виден остров-вулкан Низида, справа — построенная испанцами в первой половине XVI в. крепость, вблизи нее — вулкан-однодневка Монте-Нуово. Поццуоли долгое вре-

мя был главным портом Рима, а вблизи Байи базировался его военный флот.

В геологическом отношении это район так называемого площадного вулканизма. Если на противоположном берегу Неаполитанского залива возвышается мощный конус Везувия с периодическими извержениями его центрального кратера, то здесь насчитывают до 20 небольших вулканов с короткой активной стадией развития. Они сложены преимущественно кислыми (обогащенными кремнеземом) вулканическими породами — трахитами и их туфами. Самому старшему (по радиоуглеродным и калий-аргоновым определениям) 47 тыс. лет. Вулканические постройки невысокие с неглубокими кратерами или взрывными кальдерами. Одна из жемчужин Флегрейских полей — вулкан Сольфатара, расположенный у восточной окраины Поццуоли. Страбон назвал ее форумом Вулкани, Плиний Старший — храмом Геркулеса. Здесь, в «Сольфатарском аду» в 305 г. при правлении Диоклетиана были замучены семь христианских подвижников.

Что же такое Сольфатара? Небольшой кратер, плоское днище которого шириной не более 500 м окружено обрывистыми стенками высотой до 100 м. С юга он практически от-

крыт. Вулкан как вулкан, за исключением одного обстоятельства: из дна кратера и его северного и восточного бортов выходят многочисленные фумаролы — струи водяных паров и вулканических газов. Таковы вулканы, вступившие в последнюю фазу развития на пути к полному покою — сольфатарскую стадию, или просто вулканы типа сольфатара.

Днище кратера Сольфатары находится на 98 м над ур.м., а окружающие его стенки поднимаются до 200 м. Вход в вулкан на удивление прозаичен: поворот налево в небольшой проулок, проход в арку под гостиницей, и вы уже в кратере. Поначалу ничто не вызывает удивления или восторга. Слева место парковки, затем кемпинг, бар, лужайка для пикников — обычное место для отдыха на природе. Еще ресторан. На его стенках геологические карты, что необычно для такого рода заведений. И пока с ними знакомишься, легкий ветерок приносит ощутимый запах сероводорода. Следуем далее и попадаем в восточную часть кратера, где открывается необычная картина. Из-под северной и восточной стенок поднимаются клубы пара, запах сероводорода резко усиливается, поверхность сложена рыхлыми туфами с многочисленными желтыми пятнами самородной серы. В центре — плоская равнинка, на которой рыхлые туфы разбиты на мелкие полигончики трещинами усыхания — своего рода кратерный такыр. Над ней возвышаются беспорядочно расположенные бугры высотой до 3 м. Здесь же располагаются блюдцеобразные понижения диаметром до 10 м и глубиной до 0,5–1,0 м. Из них сквозь жидкую грязь с бульканьем вырываются пары воды и вулканических газов. Особенно много фумарол на северо-восточном обрыве стенки. Горячие ( $T=130-165^{\circ}\text{C}$ ) вулканические газы с шипением прорываются сквозь сильно измененные туфы. Главная фумарола



Вход в кратер вулкана Сальфатара.

Здесь и далее фото автора



Фумаролы в северо-восточном углу кратера.

выходит из конического сифона, покрытого красным реальгаром (сульфидом мышьяка), а чуть дальше — скопление желтой самородной серы.

Последнее значительное извержение Сольфатары произошло в 1198 г. И, хотя ее нередко называли маленьким Везувием,

она предпочла другую жизнь — стала природной лабораторией гидротермального минералообразования (подобно кальдере Узон на Камчатке). С античных времен вулкан использовался и в бальнеологических целях. В основании северной стенки кратера врыта своеобразная ан-

тичная сауна, в которую из арочных выходов поднимается водяной пар с примесью сероводорода.

Другой интересный вулкан Флегрейских полей — Монте-Нуово (Новая гора), расположенный на северо-западном берегу залива Поццуоли и образовавшийся, что называется, в одночасье. очевидцы описывают извержение Монте-Нуово следующим образом. В полдень 28 сентября 1538 г. в районе Поццуоли произошло быстрое поднятие земной поверхности, море отступило на несколько сот метров (600 локтей), и люди на песчаной осушке возами собирали рыбу. 29 октября утром земля на прибрежной равнине опустилась на несколько метров (6 локтей), и в воздух взлетел водяной столб с сероводородным запахом. В полдень земля начала вздуться куполом, а ближе к вечеру открылась про-

пасть, из которой поднялся огненный столб, начались взрывы с выбросом вулканических бомб, лапилли, пепла. Прибрежная часть залива около сформировавшегося вулкана была засыпана, образовалась мель, по морю плавали обломки пемзы.

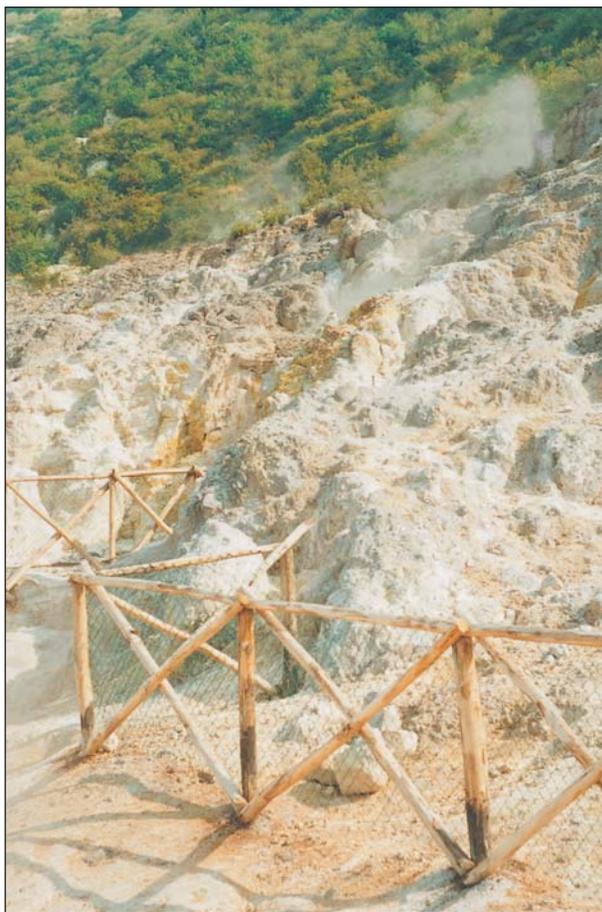
В течение ночного извержения выросла гора высотой 139 м с кратером диаметром 370 м и глубиной 120 м. Все извержение носило эруптивный (взрывной) характер, и вулкан Монте Нуово сложен рыхлыми продуктами. Небольшие извержения произошли 3 и 6 октября, до января следующего года вулкан курился, а затем затих. Сейчас Монте-Нуово имеет совершенно мирный вид — небольшая сопка, поросшая лесом и полностью застроенная в основании.

Заканчивая описание вулканических явлений Флегрейских полей, следует упомянуть о Собачьем гроте, фигурирующем во

многих школьных учебниках. Это небольшая пещера на северной окраине Баньоли, вблизи кратера, заполненного оз.Аньяно. В ней из-под земли выделяется углекислый газ, так называемая мофетта — последний признак затухающей вулканической активности.

Теперь о другой геологической особенности Флегрейских полей — быстрых и периодически изменяющих знак перемещениях земной поверхности, предшествовавших, в частности, извержению Монте-Нуово. Есть и другие примеры. На прибрежном мелководье под Байей при тихой погоде с воздуха можно увидеть руины затопленного города — типично правильная римская застройка с пересечением главных улиц под прямым углом.

Самое же примечательное свидетельство периодических перемещений земной поверх-



Желтые выделения самородной серы на поверхности кратера.

Трахитовые туфы сильно изменены у выходов фумарол.



Вулкан Монте-Нуово.

ности — знаменитый храм Сераписа в Поццуоли, вблизи городской гавани.

В действительности, это руины припортового рынка античного времени: прямоугольная площадь, окруженная лавками, в центре круглый храм с 16 колоннами, упоминаемый впервые в 105 г. до н.э. При раскопках, ведущихся с 1750 г., здесь была найдена статуя древнегреческого бога Сераписа, от него храм получил свое имя. Сейчас раскоп отделен от моря насыпной набережной, а поверхность римской площади находится на уровне моря, и ее покрывают лужи. Нижние 3.5 м известняковых колонн не несут следов изменений, выше 6.5 м они немного растрескались. А вот в интервале 3.5—6.5 м колонны сильно повреждены, в том числе ходами моллюска-камнеточца *Litbodomus dactylus*. Все говорит о том, что какое-то время они были под уровнем моря, а затем вновь поднялись. Амплитуда таких перемещений составляет минимум 6.5 м. Храм Сераписа был в целости еще в 205 г. н.э.,

затем на 3.5 м засыпан щебнем, камнем, песком, в средние века медленно погрузился под уровень моря. Первое документальное упоминание о быстром его поднятии относится к началу XVI в., т.е. перед извержением Монте-Нуово.

Обращают на себя внимание следующие обстоятельства. Во-первых, перемещения земной поверхности в районе Флегрейских полей переменного знака (опускания сменяются поднятиями, и наоборот) и весьма быстрые (поднятие морского дна в одни сутки перед вулканическим пароксизмом Монте Нуово — показательный тому пример). Во-вторых, перемещения связаны с вулканическими проявлениями, временная пауза (инерция) между ними мала. Скорее всего, они имеют одну природу — периферический магматический очаг, обеспечивающий площадной вулканизм Флегрейских полей. Преобладающие здесь кислых вулканических пород свидетельствует о неглубоком залегании очага — в пределах верхней части зем-

ной коры, а точнее в ее гранитном слое.

На геофизических и геологических картах район Поццуоли обозначен как зона А — максимум сейсмических потрясений. Во время сейсмического кризиса 1982—1984 гг., когда главный толчок привел к значительным повреждениям городских строений, гипоцентры землетрясений расположились под Флегрейскими полями и заливом Поццуоли на глубине не более 5 км, с максимальной концентрацией на глубинах 2.0—4.5 км.

Что еще можно сказать об этом прекрасном уголке Италии? Лучше закончить мое повествование словами Неймара: «Картина... без сомнения, одна из самых очаровательных на земле, но особую прелесть приобретает она для того, кто умеет смотреть глазами геолога...».

**Работа выполнялась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 02-05-64022 и 02-05-74581.**

# Аист на крыше...

В.И.Булавинцев,  
кандидат биологических наук  
Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН  
Москва



В поисках корма.

Здесь и далее фото автора

Немые птицы — странно звучит, но ведь есть и такие. И не какие-нибудь заморские, дивные, а наши белые аисты. Услышать их можно и даже издали, но не голос, а приглушенное шипение во время тока или костяное щелканье клювом, словно старомодная швейная машинка неторопливо стрекочет. А это песня на все случаи жизни.

В Подмоскowie аистов увидишь редко, но чуть подальше, на запад, скажем, под Волоколамском — куда чаще. А уж в псковских землях, поближе к Смоленщине, аисты — обычные птицы. Сидят на своих огромных гнездах чуть ли не в каждой деревне. Что их держит у человеческого

жилья, Бог знает. Кормятся вроде бы тем же, чем и серые журавли: лягушками, ящерицами, мышей ловят, крупных насекомых, а по-ди ж ты, журавля в деревне не увидишь, где-нибудь на дальнем выгоне, да и то издали, а аисты издревле с людьми в дружбе.

Прилетают они из Африки с зимовки сразу после схода снега, в середине апреля. Обновят старое гнездо и вскоре впрягаются в семейные хлопоты. Сначала кладку из трех—пяти яиц высиживают без малого месяц. Потом птенцов долго кормят в гнезде. Растут они быстро, но чтобы полетели, больше двух месяцев требуется.

В первой половине августа аисты на сенокосы вылетают всем семейством. Лягушек у лю-

дей чуть ли не из рук берут. Поймает косарь квакушку, бросит птице, та лягу на лету цап, подбросит в воздух и нет лягушки. Чтобы насытиться, надо не один десяток лягушек съесть. Позже аисты за комбайнами ходят. Ловят по свежей стерне все, что попадется.

К третьей декаде августа птенцы окрепнут, соберутся птицы в стаи, покружат в родном поднебесье, прощально щелкая клювами, и полетели с родных мест к югу, не сразу, с остановками, но особо нигде не задерживаясь, чтобы ко времени на зимовку успеть.

Сиротеют деревни без аистов. А вернутся птицы к весне, так вроде и жить легче. «Аист на крыше — мир на земле». ■

© Булавинцев В.И., 2004



На отдыхе.



Гигиеническая процедура.



Тренировка.

# Кигиляхи Якутии

Ю.А.Мурзин

Институт мерзлотоведения СО РАН  
г.Якутск

Заметки и наблюдения

Как только не называют скалы-останцы, образующиеся при выветривании плотных пород в разных частях планеты в зависимости от их формы, — камни-монахи в Европе, камни-бараны в Казахстане, камни-лошади в Восточном Забайкалье. В горных районах Якутии по водоразделам Лены, Яны, Индигирки и на вершинах гор встречаются высокие каменные столбы, издали похожие на человека или группу людей. Их именуют кигиляхами (или кисиляхами), что по-якутски означает люди, еще одно принятое в Восточной Сибири название столбов — кекуры [1, 2].

Такие останцы широко распространены на северо-востоке республики (на Алазейском плоскогорье, на Полоусном, Кюн-Тасе и Кисиляхском хребтах) [3], а слово «кигилях» вошло в обиход и нередко встречается в географических названиях: п-ов Кигилях и мыс Кигилях — в юго-западной части о.Большого Ляховского; гора Кисилях-Тас, одиноко стоящая среди тундры на правом берегу р.Алазеи, в 160 км от берега Восточно-Сибирского моря. А острова Столбовой и Четырехстолбовой из группы Ляховских и Медвежьих о-вов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского названы так из-за каменных столбов — кигиляхов на них.

Наиболее живописные столбы встречены в Верхоянском улусе на водоразделе рек Яны

и Адычи в отрогах одного из самых малых хребтов в северо-западной части горной системы Черского — Кисиляхского. Протяженность его около 80 км, максимальная абсолютная отметка 1548 м. Хребет сложен терригенными породами: темно-серыми глинистыми сланцами, аргиллитами, алевролитами триаса и светло-серыми песчаниками юры. Эта осадочная толща сильно дислоцирована и во многих местах прорвана интрузиями гранитов и гранитоидов мелового возраста. Именно из них и формируются кигиляхи, иногда высотой до 30 м, которые тянутся по гребню главного и боковых водоразделов хребта. Наиболее крупные столбы находятся на высоких вершинах. Здесь они образуют протяженные скальные стенки, отделенные друг от друга узкими лабиринтами проходов. По мере удаления от вершины размеры кигиляхов уменьшаются, но их формы становятся более разнообразными.

Мне неоднократно приходилось бывать в этих завораживающих местах (примерно в 40 км к востоку от пос.Батагай) и часами бродить среди каменных изваяний, высеченных из гранитного материала самой Природой. Названия фигур приходили на ум сами собой. Вот кладет поклоны Кающаяся Магдалина, глаза ее устремлены на Врата ада (на противоположном склоне разбился пассажирский самолет Ан-24), чуть в стороне — Марсианин, рядом — стоящая Голова великана из

«Руслана и Людмилы», неподалеку — ползущий Терминатор. Ниже по склону тянутся гранитные блоки, напоминающие то гусеницу, то верблюда.

Обследование скальных останцов показало, что многие из них неустойчивы — разбиты вертикальными трещинами. Их северная сторона обычно покрыта лишайниками, южная — скальным загаром (блестящей черно-бурой пятимиллиметровой корочкой), западная и восточная отшелушиваются и осыпаются.

В XIX в. исследователь северо-востока Сибири Г.Майдель отметил одну важную особенность формы кигиляхов в Алазейских горах: их нижняя часть (ножка), высотой примерно в рост человека, значительно тоньше, чем верхняя. Вот как он об этом писал: «Они имели самые причудливые формы: были столбы высотой до четырех и более саженей. Нижняя часть этих странных образований (до высоты одной сажени) была большей частью тоньше, чем верхняя: были даже такие кекуры, что проезжая мимо них верхом, невольно задаешь себе вопрос, не лучше ли их объехать, потому что колоссы стояли на столь тонкой ножке, что могли, казалось, обрушиться каждую минуту <...>. У некоторых из колонн ножки были настолько красиво вогнуты и кругло отшлифованы, что лучше не сделал бы камнетес» [4. С.333].

В Кисиляхском хребте только у некоторых отдельно стоящих



Кисляхский хребет.

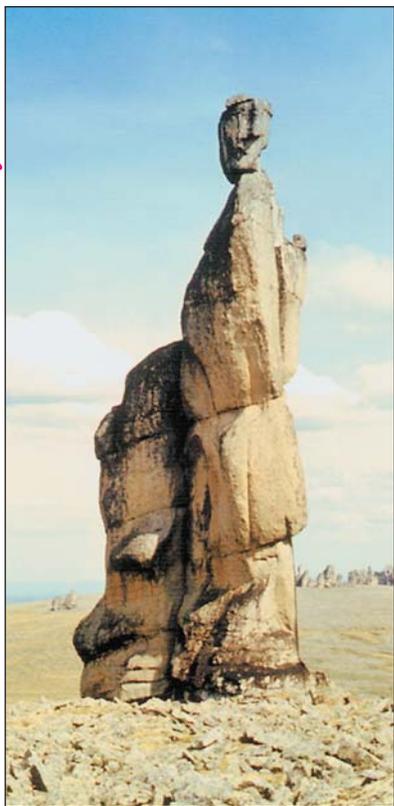
Здесь и далее фото автора

кигиляхов до высоты 1 м отмечается едва выраженная «ножка» со свежими следами отслаивания и шелушения, а под ними, среди глыбового материала, — скопление мелких плоских остроугольных обломков. Горные породы, из которых состоят столбы, имеют характерную горизонтальную сланцеватость.

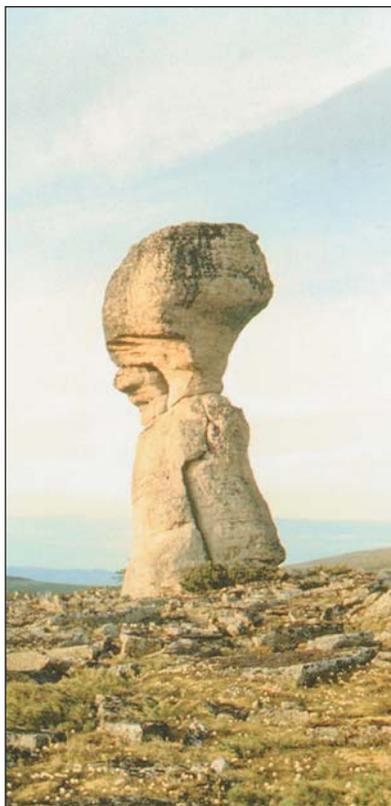
Как и когда сформировались эти великаны, порою высотой с девятиэтажный дом? В 1821—1823 гг. Ф.П.Врангель, обследуя Медвежий о-ва в Восточно-Сибирском море, обратил внимание на скальные останцы о.Четырехстолбового: «Все пространство от берега до вершины холма, около половины морской мили, было завалено большими и малыми обломками гранита и порфира, становившимися крупнее по мере приближения к столбам, около которых лежат уже огромные гру-



Одна из вершин Кисляхского хребта с кигиляхами.



Кающаяся Магдалина.



Марсианин.



Гусеница.

ды камней. Столбы состояли из горизонтальных, около 5 дюймов толщины, слоев тех же пород. На двух столбах замечены нами значительные щели и трещины, разрывающие их сверху донизу и имеющие, по-видимому, параллельное направление. Из сего можно заключить, что три ныне разделенных камня составляли некогда один большой утес: постепенно расщеливаясь и разрушаясь от силы мороза или других физических проблем, он утратил свой первобытный вид» [5].

Здесь довольно точно определен механизм образования кигиляхов. Благодаря быстрому понижению температуры воздуха в осенне-зимний период, в горных породах возникают большие температурные градиенты. Образующиеся в результате этого морозобойные трещины разрывают массив пород на блоки. В дальнейшем выветривание, в основном морозное, расширяет и углубляет трещины. Описав три кигиляха, а также отметив четвертый, Врангель назвал остров Четырехстолбовым.

В 1935 г. на острове побывал известный геолог С.В.Обручев, обнаруживший только три столба и никаких следов четвертого. Он посчитал, что достаточно около 200 лет (имея в виду время открытия островов русскими в 1702 г.), «чтобы кеккур исчез бесследно» [6]. Однако почти в одно время с Обручевым на о.Четырехстолбовом в 1933–1934 гг. проводил биологические и географические исследования И.Е.Воробьев, который на составленной им геоморфологической карте острова показал все четыре кигиляха и в пояснении к ней отметил, что в восточной части острова возвышаются все четыре гранитных столба [7].

В 1985–1988 гг. на Медвежьих о-вах работала Янская геологоразведочная экспедиция. Ее участник С.Д.Разумов — сотрудник Института мерзлотоведения СО РАН — отметил, что на Четырехстолбовом осталось всего

два кигиляха и небольшой останец высотой около метра — от третьего. Более того, к 1995 г. от второго кигиляха, прозванного местными жителями Монахом, по разделяющей его вертикальной трещине отвалилась половина, и в настоящее время на острове их, по существу, осталось полтора, причем «целый» разбит вертикальной трещиной на две половины. Если такие темпы разрушения останцов сохранятся и дальше, в недалеком будущем столбов на острове практически не останется, и его название не будет соответствовать действительности.

Многие кигиляхи Кисляхского хребта, как и о.Четырехстолбового, разбиты вертикальными и горизонтальными трещинами и находятся в неустойчивом состоянии.

Раньше водораздел рек Яны и Адычи имел значительно бóльшие абсолютные отметки. За промежуток времени, насчитывающий десятки тысячелетий, денудационные процессы понизили общий уровень поверхности осадочной толщи, пронизанной интрузиями, оставив их возвышаться над песчано-каменистым безмолвием. Процессы выветривания в содружестве с самим Эолом потрудились, под стать великим скульпторам, выточив из плотных гранитных пород самые разнообразные формы, загадочные и порой чарующие. Их работа продолжается.

В 1986–1990 гг. археологи Якутского научного центра АН



Характерная горизонтальная сланцеватость горных пород, слагающих кигиляхи.

СССР близ кигиляхов (у подножия склонов Кисляхского хребта, на поверхности речных террас) обнаружили 68 стоянок и местонахождений древних людей и одно погребение. Эти находки наглядно показывают достаточно плотную заселенность района в давние времена и опровергают мнение, что горные области Северной Азии с экстремально суровыми условиями обитания были недоступны для людей каменного века [8]. Обилие мамонтовой фауны в мощных плейстоценовых аллювиальных отложениях Нижне-Адычанской впадины делают район Верхоянья перспективным для археологичес-

ких поисков памятников, а также многослойных стоянок, которые могли бы стать опорными для всего северо-востока Якутии.

Несомненна и туристическая привлекательность якутских столбов [9]. Пройдя от устья ручья Кетет по старой дороге геологов вверх на водораздел, туристы будут вознаграждены встречей с экзотическими фигурами. Имеется и более короткий и удобный путь. Ниже по течению Адычи, чуть выше устья ручья Кыра, на левом берегу реки находится заброшенная база геологов. От нее ведет тропа на водораздел Кисляхского хребта, где кигиляхов множество. ■

## Литература

1. Багдарыын Сьюльбэ. Топонимика Якутии. Якутск, 1985.
2. Мельхеев М.Н. Географические названия Восточной Сибири. Иркутск, 1969.
3. Федорцев В.А. Кигиляхи // Проблемы Арктики. 1938. №1. С.5–12.
4. Майдель Г. Путешествие по северо-восточной части Якутской области в 1868–1870 гг. // Записки Академии наук. СПб., 1894. LXXIV/ Т.1.
5. Врангель Ф.Л. Путешествие по северным берегам Сибири и по Ледовитому морю, совершенное в 1820–1824 гг. М.; Л., 1948. 2-е изд.
6. Обручев С.В. Геоморфологические курьезы // Известия ВГО. 1940. Т.72. №6. С.774–780.
7. Воробьев И.Е. Остров Четырехстолбовой // Известия ВГО. 1940. Т.72. №3. С.342–352.
8. Михалев В.М., Елисеев Е.И. Археологические исследования в бассейне верхней Яны // Археологические исследования в Якутии. Новосибирск, 1992. С.47–64.
9. Глушков А.В. 100 рек Якутии (путеводитель-справочник). Якутск, 1996.

# На пороге Средиземноморья

И.О.Мурдмаа,

доктор геолого-минералогических наук

Н.Б.Келлер,

кандидат биологических наук

Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН

Москва

Памяти Казимира Миколовича Шимкуса

Недавно в последних известиях промелькнуло сообщение о том, что Испания и Марокко возобновляют прерванные почти на десятилетие работы по сооружению железнодорожного тоннеля под Гибралтаром. Оно напомнило нам лето 1994 г., когда экспедиция Южного отделения Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН под руководством видного морского геолога К.М.Шимкуса (1935—2001) на небольшом исследовательском судне «Рифт» исследовала порог Гибралтарского пролива.

Знаменитый пролив был оживленным морским путем еще в античном мире, на заре европейской цивилизации. Через западные ворота Средиземного моря выходили в Атлантический океан финикийские мореплаватели. Древние греки окрестили две горы по обе стороны от пролива Геркулесовыми столбами, за которыми, согласно Платону, находилась мифическая Атлантида. Здесь проходили римские галеры, направлявшиеся в главный атлантический порт Римской империи Кадис, основанный еще финикийцами. Карфагенский воститель Ганнибал переправил свое войско с боевыми слонами через Гибралтар завоевывать

Рим. Столетиями позже проливом завладели арабы, которые построили на его берегах две крепости — Танжер на африканском и Тарифа на европейском, где с проходящих торговых судов собирали дань. Отсюда происходит название таможенного тарифа и уютного средневекового городка, который служил нам пристанищем в течение месяца. Работа выполнялась по контракту с марокканско-испанской компанией в рамках изысканий под строительство транспортного тоннеля между Европой и Африкой. Исследования велись с помощью обитаемого подводного аппарата «Аргус». Шимкус и стал первым геологом (а вместе с пилотами «Аргуса» одним из первых людей), своими глазами увидевшим дно знаменитого пролива; И.О.Мурдмаа — один из авторов этой статьи — вторым.

## Порог глазами очевидцев

Порог протягивается 18-километровой выгнутой в сторону Атлантического океана дугой между юго-западной оконечностью Пиренейского п-ова и северо-западным побережьем Африки. Это узкая подводная гряда с глубинами над вершиной

100—300 м, ограниченная на обоих концах крутыми сбросовыми уступами, свидетельствующими о тектоническом опускании (провале) порога при открытии Гибралтарского пролива. Гряда находится западнее самого узкого створа Гибралтарского пролива, где глубина превышает 800 м. Когда возникла амбициозная идея проложить тоннель под Гибралтаром (благодаря чему наша экспедиция там и оказалась), проектировщики выбрали, по вполне понятным причинам, более длинный маршрут под порогом. Иначе пришлось бы закладывать тоннель на километровой глубине. Но и здесь проектная глубина достигала 500 м ниже уровня моря.

Что же мы видели через маленький иллюминатор «Аргуса» на Гибралтарском пороге? Первые впечатления Шимкуса об увиденном на дне звучали примерно так. Голые скалы. Рыхлых осадков вообще нет. Стоят параллельные стенки толщиной в несколько метров и высотой до десятка метров, обросшие донной фауной, а между ними гладкое твердое дно аж блестит. Все промыто течениями. Стенки — это очевидно вертикально стоящие пласты песчаника, а более мягкие глинистые породы (аргиллиты) в промежутках размыты. Нет сомнений — на

дне распространен тот же сильно деформированный нумибийский флиш (многокилометровая ритмично слоистая толща розоватых песчаников и серых аргиллитов), который обнажается на обоих берегах пролива. Похожую картину уходящих под воду параллельных «ребер» почти вертикально стоящих пластов флиша можно видеть на пляжах Тарифы.

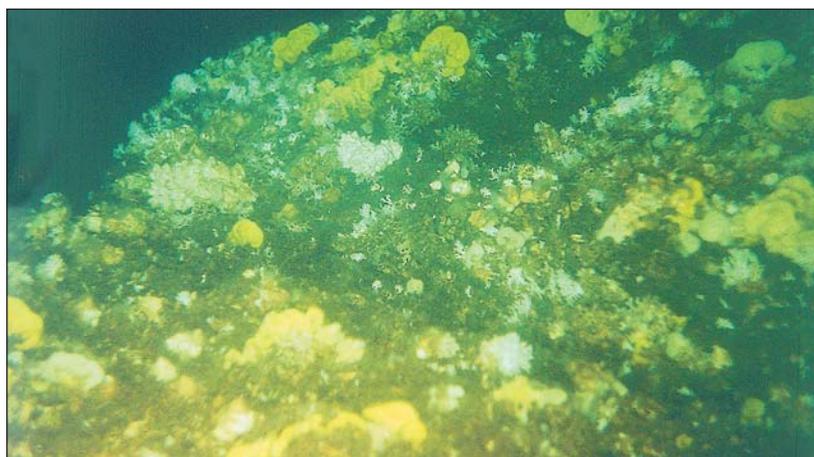
Нумибийский флиш накопился в меловом периоде геологической истории на подножии южного (африканского) континентального склона мезозойского океана Тетис. Этот древний океан, названный по имени греческой богини, дочери бога Океана, простирался между континентами Гондваны и Лавразии от Америки на западе до соединения с Тихим океаном на востоке. Закрытие западного Тетиса в результате сближения, а затем жесткого столкновения Африканской литосферной плиты с Евразийской привело к формированию складчатых горных цепей от Пиренеев, Атласских гор и Альп до Карпат и Кавказа. На Андалузию надвинулись из Африки нумибийские песчаники, вздыбившись вертикальными пластами и закрыв проход из Средиземного моря (реликта Тетиса) в Атлантический океан.

Последовали поистине драматические события, известные как Мессинский кризис.



Команда акванавтов на борту научно-исследовательского судна «Рифт» у исследовательской подводной лодки «Аргус». В центре у трапа: начальник экспедиции К.М.Шимкус (справа) и старший геолог И.О.Мурдмаа.

Так выглядит дно Гибралтарского пролива на глубине около 200 м, снятое через иллюминатор «Аргуса». Поверхность песчаников густо заселена донной фауной.



## Вести из экзотической Мессинский кризис

В геологической истории Средиземного моря было время, когда оно почти высохло, испарилось. Случилось это в самом конце миоцена, в мессинском веке (6.3—5.3 млн лет назад), в результате закрытия пролива между Средиземным морем и Атлантическим океаном, который в то время находился южнее современного Гибралтара.

Средиземное море, остаток Тетиса, превратилось в громадное глубокое озеро, вода которого в условиях сухого жаркого климата стала быстро испаряться. Уровень гигантского моря-озера понижался, а соленость воды увеличивалась, пока не достигла насыщения и не началось осаждение солей. За сравнительно короткое время (около 0.5 млн лет) на дне высыхающего сверхсоленого бассейна

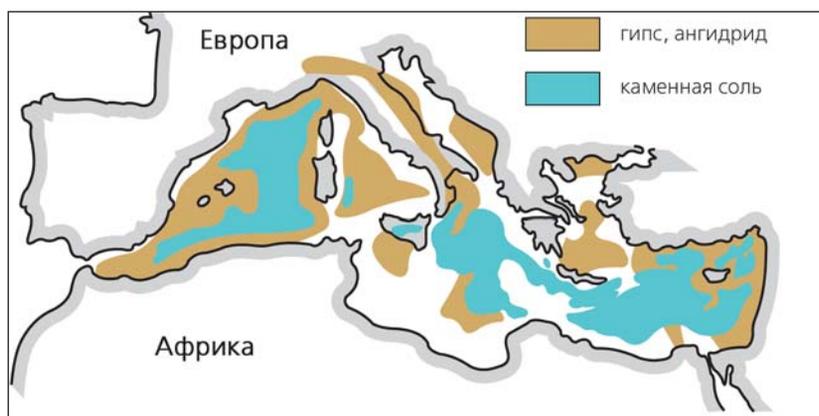
накопился толстый (мощностью до 2500 м) слой соли, который по сей день подстилает в виде прочного фундамента толщу более молодых рыхлых донных отложений, накопившихся за последние несколько миллионов лет, прошедших со времени Мессинского кризиса. Факт присутствия пластов солей подтвержден геофизическими исследованиями и глубоководным бурением.

Честно говоря, трудно себе представить на месте Средиземного моря яму глубиной более двух километров, отгороженную узким гористым перешейком от Атлантического океана. Картина почти невероятная — плотина между Африкой и Европой запрудила океан, в котором уровень воды оказался на два километра выше той соляной ямы. Мало того, такая же плотина должна была существовать на

востоке — между почти высохшим Средиземным морем и Индийским океаном.

Долго такое неустойчивое сооружение существовать не могло. И вот плотину прорвало, скорее всего при сильном землетрясении, связанном с подвижками земной коры в крупном Азоро-Гибралтарском разломе, протягивающемся от Азорских о-вов через Гибралтарский пролив в Средиземное море. Прорыв произошел примерно 5.3 млн лет назад на месте современного Гибралтарского пролива. Воды Атлантики хлынули через пролив в яму Средиземного моря в виде грандиозного водопада. Для заполнения огромного глубокого бассейна потребовалось столько воды, что уровень Мирового океана заметно понизился, что действительно установлено путем изучения осадочных разрезов, вскрытых глубоководным бурением. С этой катастрофой связывают существенные изменения климата и условий обитания живых организмов в Мировом океане.

Похоже, что именно следы Мессинского водопада запечатлены в причудливом рельефе дна порога Гибралтарского пролива. Во всяком случае здесь наши с Шимкусом точки зрения в целом совпали. Геоморфолог Ю.Д.Евсюков, обеспечивавший данный раздел работ нашей экспедиции, тоже не возражал. Правда, в наших беседах обсуждалась и другая идея — о тектоническом происхождении крутых расщелин и гряд, увиденных на дне. Вспомнили про Азоро-Гибралтарский разлом. В конце концов сошлись на том, что одно другому не противоречит. То, что порог подвергался воздействию сильнейших течений, промывших в породах флишевой толще глубокие русла, было очевидно. А других виновников такой деятельности, кроме Мессинского водопада, мы придумать не смогли. Глядя на стенки песчаника и ущелья между ними, мы мысленно пред-



Распространение верхнемиоценовых эвапоритов в Средиземном море.



Средиземное море в момент прорыва атлантических вод через Гибралтарский пролив.

ставляли себе бурные потоки вод Атлантики, несущиеся через порог и падающие с двухкилометровой высоты на покрытое солью дно высохшего Средиземного моря.

## Говорят кораллы

Первое требование заказчиков к экспедиции — обследование плоского плато в средней части Гибралтарского порога на глубине около 200 м. Дело в том, что наши предшественники англичане, проводившие детальную съемку рельефа и грунтов вдоль трассы тоннеля, подняли трубами с поверхности плато только обломки кораллов. Ни донных осадков, ни обломков пород им обнаружить не удалось. Возникло подозрение, что плато может представлять собой погруженный древний коралловый риф. На фоне расчлененного рельефа порога резко выделялись овальная форма и ровная горизонтальная поверхность плато, которое по морфологии действительно напоминало затонувший коралловый атолл. Наличие на пути тоннеля массива пористых рифовых известняков могло существенно осложнить строительство и привести к большим дополнительным затратам. Нам предстояло либо подтвердить, либо опровергнуть такое предположение.

Задачу взялся решать сам начальник экспедиции. Погружаясь на «Аргусе» в район южного края плато, он проследил, как почти вертикально стоящие пласты песчаника уходили под густые заросли ветвистых кораллов. Опытному геологу Шимкусу стало ясно, что никакого древнего рифа здесь нет, а совсем молодые, в том числе живые колонии кораллов растут на прочном фундаменте смятых в складки песчаников мелового возраста, тех самых нумбийских песчаников, на которых стоит Тарифа.

И вот «Аргус» парит над открытой зарослями кораллов



«Рифт» у пирса порта Тарифа. Вдали видны горы побережья Африки на той стороне Гибралтарского пролива.

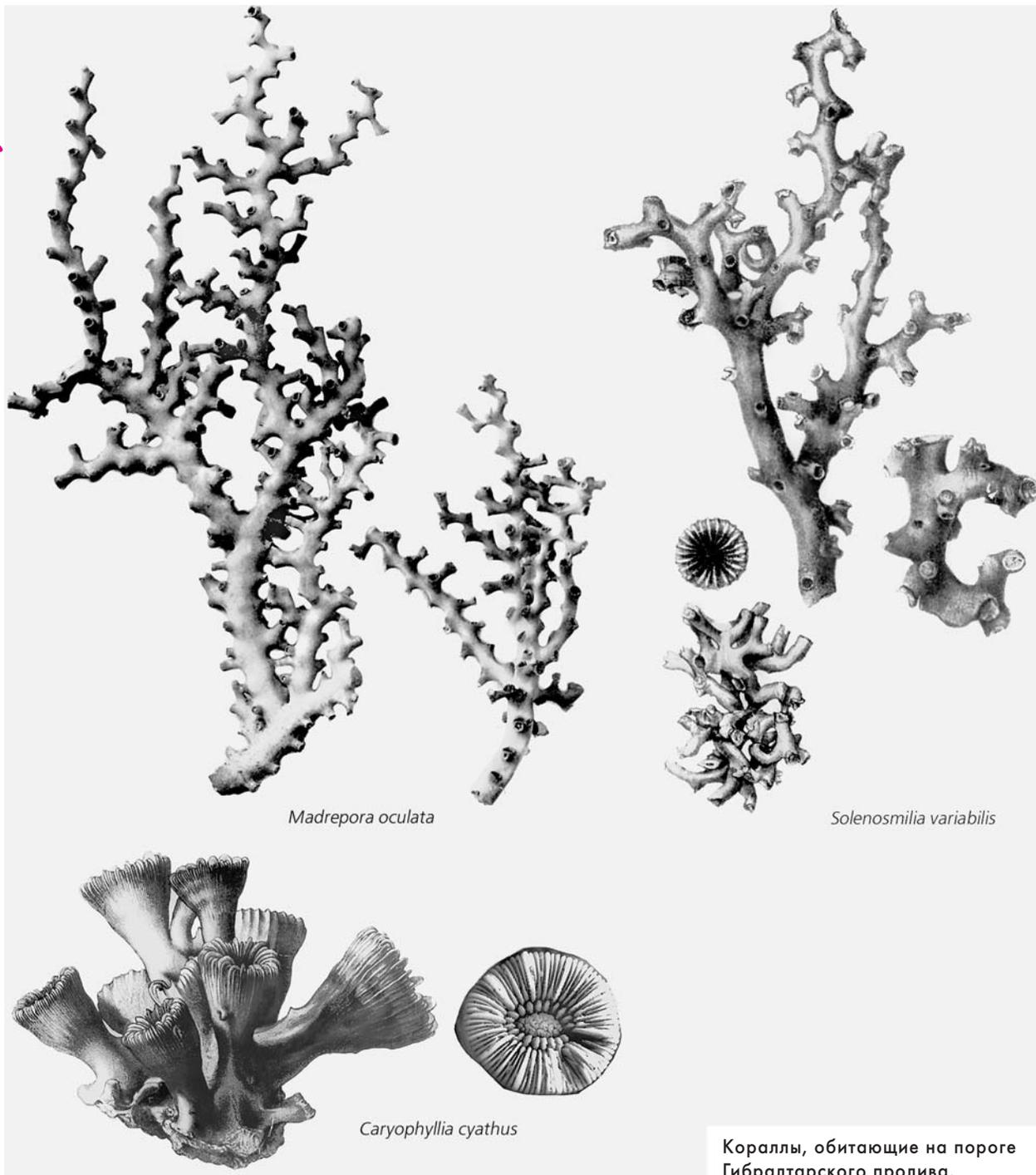
вершинной поверхностью плато. Однообразие подводного кустарника изредка нарушается появлением небольших прогалин, в которых просматривается слоистое строение фундамента этого необычного глубоководного рифа. По ходу подгоняемого течением «Аргуса» разглядеть предполагаемые обнажения не удастся, и Шимкус дает указание пилотам садиться на дно. Под хруст ломающихся кораллов подводный аппарат совершает посадку в одной из прогалин. Видеокамера фиксирует характерную ребристую картину выходов слоистых песчаников, над которыми на 1–1.5 м возвышаются «кусты» кораллов.

Все заснято, дана команда к всплытию, но аппарат не сдвигается с места. «Кажется, застряли», — записывает К.Шимкус на диктофоне и далее подчеркнuto деловым тоном дает информацию о месте нахождения аппарата, окружающей обстановке, сделанных научных наблюдениях. Минуты идут, а пилотам никак не удается высвободить лыжи «Аргуса», застрявшие в коралловых зарослях. На борту «Рифта», где мы напряженно следили за событиями на дне, уже пого-

варивают о необходимости выключения всех приборов для экономии электроэнергии, когда снизу приходит успокоительная весть: «Освободились».

Благополучно закончившийся драматический инцидент возбудил интерес геологов экспедиции к проблемам донного населения Гибралтарского порога и прежде всего к глубоководным кораллам, образцы которых, собранные на «Аргусе», были переданы второму автору этой статьи — Н.Б.Келлер. Некоторые результаты ее исследования, приведенные ниже, помогают понять развитие экологической обстановки на Гибралтарском пороге в течение последних тысячелетий.

На скальных выходах и уступах Гибралтарского порога наблюдаются многочисленные поселения изящных ветвистых колониальных беззооксантеллятных склерактиниевых кораллов. Именно они образуют описанные выше заросли на скалистых вершинах подводных плато. В отличие от рифообразователей склерактиний эти кораллы лишены одноклеточных водорослей — зооксантелл и способны жить на больших глубинах

*Madrepora oculata**Solenosmilia variabilis**Caryophyllia cyathus*

Кораллы, обитающие на пороге Гибралтарского пролива.

океана, куда не проникает солнечный свет, необходимый для фотосинтеза водорослей.

Рядом в изобилии растут более мощные ветви гидроидных кораллов стиластерид вида *Errina aspera*. Известковые белоснежные основания колоний и тех, и других кое-где образуют сплошную корку на скальных

породах. В зарослях колониальных кораллов или на прогалинах между ними нередко встречаются небольшие группы одиночных кубковидных коралчиков с плотными известковыми стенками, укрепленными внутри многочисленными септальными перегородками и крепким столбиком, относя-

щихся к виду *Caryophyllia cyathus*. Этот вид широко распространен в Атлантическом океане и в Средиземном море на глубинах от 70 до 300 м.

Среди колониальных ветвистых склерактиний Гибралтарского порога различаются пять видов: *Madrepora oculata*, *Solenosmilia variabilis*, *Lophelia prolif-*

era, *Dendrophyllia cornigera*, *D.gaditana*. Первые четыре вида — космополиты; они приспособлены к меняющимся условиям окружающей среды и встречаются в Мировом океане повсюду, кроме антарктического побережья, причем прекрасно себя чувствуют как на малых, так и на больших глубинах — соответственно до 1500, 1260, 2170 м. *D.gaditana* менее распространен; он встречается как на мелководьях, так и на глубинах до 600 м в восточной Атлантике и в Средиземном море.

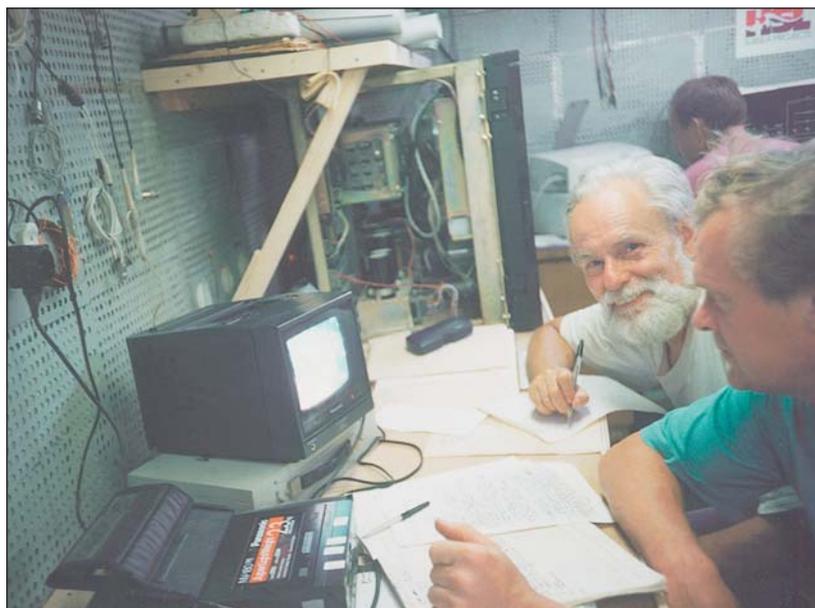
Таксономическое однообразие кораллов Гибралтарского порога особенно бросается в глаза при сравнении с близлежащими районами океана. В Атлантическом океане, у входа в Гибралтарский пролив, на подводных горах Ормонд, Горриндж и на некоторых других поднятиях между Португалией и о.Мадейра живут разнообразнейшие склерактинии 22 видов. Иберо-Марокканский залив населен 44 видами этих кораллов. В море Альборан (запад Средиземного моря) обитает 20 их видов. И это не удивительно. Только немногие, особенно пластичные, хорошо приспособленные виды могут выжить в суровых условиях Гибралтарского порога.

Глубиной менее 300 м он полностью изолирует Средиземноморский бассейн от влияния холодных глубинных вод Атлантического океана. Поток Атлантических вод, входящих в Средиземное море, охватывает лишь поверхностный слой до 150–175 м. Эти воды отделены четким скачком плотности от встречного потока подповерхностных вод.

Для нормального существования большинства склерактиниевых кораллов требуется вполне определенная для каждого вида температура. Одни не переносят повышения температуры свыше 4°C, другие — свыше 10°C и поэтому не могут существовать в условиях глубоководных частей порога (более 200 м), где дно омывается стремительными по-



Очередная добыча «Аргуса» с порога Гибралтарского пролива: колония ветвистых кораллов и другие представители фауны, обросшие обломки мертвых коралловых построек.



В лаборатории научно-исследовательского судна «Рифт» за просмотром видеозаписей со дна Гибралтарского пролива.

токами теплых вод высокой солености, к тому же бедных кислородом, вытекающих из Средиземного моря.

Максимальная скорость поверхностного течения в средней части Гибралтарского пролива достигает 80–100 см/с, а местами до 200 см/с и более. К этим величинам периодичес-

ки добавляется скорость приливно-отливных течений. Скорости придонных течений над порогом почти такие же, а временами могут быть и выше. Акванавты на «Аргусе» неоднократно испытывали на себе буйство этих течений, а также коварных внутренних волн, развивающихся на границе нижних



Улочка Тарифы.

средиземноморских и верхних атлантических вод.

Поэтому естественно изобилие обломанных мертвых кораллов именно в средней части Гибралтарского порога. Количество просто окатанных и сильно окатанных (до гальки) экземпляров резко возрастает на вершине хребта, особенно в его средней части, где они и были

собраны при погружениях «Аргуса». Обратите внимание, речь идет о мертвых кораллах, перенесенных и окатанных сильными придонными течениями. Местами на пониженных скалистых площадках наблюдались целые валы и «сугробы» из окатанных одиночных кораллов и обломков ветвистых кораллов, намытые течениями. Живых орга-

низмов здесь нет, они обитают в стороне, на выступах скал и вершине плато.

Датирование радиоуглеродным методом окатанных экземпляров двух наиболее обычных в этой части хребта видов рода *Caryophyllia* (*C.cyathus* и *C.smithi*) дали возраст  $1700 \pm 70$  и  $2040 \pm 90$  лет.

Мы знаем, что для нормального существования склерактивных оптимальны постоянные умеренной скорости течения, несущие кораллам планктон и другие питательные вещества и помогающие очистить чашечки от осадка. Поэтому кораллы — жители подводных гор — обычно селятся на скальных участках вблизи расщелин или обрывов, повернув свои щупальца в направлении водных потоков. Напрашивается вывод, что в начале нашего летоисчисления, когда кораллы пышно развивались на гребне средней части Гибралтарского порога, условия жизни были более благоприятны, чем ныне.

Что же изменилось с тех пор? Однозначного ответа пока нет, и можно строить лишь более или менее правдоподобные гипотезы.

Известно, что в настоящее время склерактивные кораллы в Средиземном море живут только в верхнем 600-метровом водном слое, ниже встречаются только их мертвые скелеты — очевидно, что хотя склерактивные в миоценовое и плиоценовое время были там таксономически однообразны (всего четыре вида), но обитали на глубинах до 3000 м в изобилии. Определения абсолютного возраста скелетов кораллов радиоуглеродным методом дали цифры от 15 тыс. до 30 тыс. лет, чем глубже были найдены fossilized скелеты, тем они оказывались древнее: возраст древнейших из них был определен в 22000 лет для вида, поднятого с глубины 2200 м, и 31800 лет — с глубины 3388 м.

Вымирание глубоководных кораллов в Средиземном море

происходило как из-за губительного воздействия высокой температуры на глубинах, так и из-за нарушения вертикальной циркуляции водных масс в связи с потеплением климата. Установлено, что температура глубинных вод Средиземного моря неуклонно повышалась после максимума последнего (позднеюрмского) оледенения 18 тыс. лет назад и в настоящее время достигает  $+13^{\circ}\text{C}$ , что должно было привести к гибели холодноводных видов кораллов на больших глубинах. Ослабление придонной циркуляции ограничило снабжение глубоководных прикрепленных донных животных пищей — взвешенным органическим веществом, а также кислородом.

Надо, конечно, иметь в виду, что одновременно происходил подъем уровня моря за счет таяния материковых ледниковых щитов от наиболее низкого стояния во время максимума последнего оледенения (100—120 м ниже современного) до самого высокого во время климатического оптимума голоце-

на (около 6 тыс. лет назад), за которым последовало некоторое похолодание и понижение уровня. В голоцене (т.е. в течение последних 10 тыс. лет) выявлено еще несколько циклов похолоданий и потеплений периодом около 1500 лет, среди них наиболее известны средневековый теплый период с кульминацией в начале второго тысячелетия нашей эры и последовавший за ним «малый ледниковый период» (1400—1900 гг.).

На донном населении Гибралтарского порога эти изменения могли сказаться через вариации поступления бедных кислородом теплых и очень соленых подповерхностных средиземноморских вод, которые сейчас отделены резким скачком плотности (пикноклином) от втекающих в Средиземное море менее соленых, насыщенных кислородом поверхностных вод Атлантики. Можно предположить, что в относительно холодные эпохи, прежде всего во время оледенения, при низком стоянии уровня моря, поток средиземноморских

вод в Атлантику был слабее, а сами эти воды были холоднее и богаче кислородом, чем в теплые периоды. Это должно было способствовать развитию холодолюбивой фауны глубоководных кораллов как в Средиземном море, так и на Гибралтарском пороге.

Наши датировки кораллов рода *Caryophyllia* свидетельствуют о том, что они жили в относительно холодное время, предшествовавшее теплоту средневековью. Не здесь ли кроется причина их относительного расцвета на пороге во времена заката Римской империи?

Что касается возобновления планов строительства тоннеля между Африкой и Европой, может быть, наш скромный вклад в геологическую историю Гибралтарского порога, сделанный в XX в., окажется полезным в осуществлении проекта века, теперь уже двадцать первого. Во всяком случае, проектировщики не будут теперь опасаться безобидных глубоководных коралловых рифов на Гибралтарском пороге. ■

В Англии, на юге графства Уилтшир, неподалеку от Солсбери, найдены следы древнейших (25—30 тыс. лет назад) кострищ. Археолог-консультант Е.С.Пенни (H.C.Penny) считает, что присутствие в кострищах костных остатков коз и многочисленных предметов раннего палеолита указывает на существование здесь охотничьих угодий и древних промыслов.

Sciences et Avenir. 2003. №682. P.34 (Франция).

Национальное управление по аэрокосмическим исследо-

ваниям Франции с 2004 г. приступает к осуществлению программы по сокращению вредных выбросов в атмосферу от воздушных судов. Авиапредприятия Франции намерены сократить выброс в атмосферу диоксида углерода на 50%, а оксидов азота на 80%.

Sciences et Avenir. 2003. №682. P.54 (Франция).

По предложению объединенный археологов разных стран американская администрация в Ираке отменила принятый прежним правительством стра-

ны план сооружения на р.Тигр обширного водохранилища. Ученые сочли недопустимым затопление ценнейших свидетельств древней цивилизации — на дне могли оказаться по меньшей мере 65 не тронутых раскопками крупных объектов, относящихся к периоду существования Ассирии (в том числе столица этого древнего государства г.Ашшур). Впрочем, последнее слово в этом вопросе принадлежит будущим иракским властям.

Science. 2003. V.301. №5635. P.905 (США).

## Архивные SMS-ки

### «Отрывать же головы... решительно не имели времени»

Полковник Петр Аристархович Пичугин блестящей военной карьеры не сделал; однако многие годы писал к своей двоюродной сестре Елене Васильевне о военных действиях в Туркестане в 1868—1871 гг., благодаря которым Российская империя приросла Средней Азией. Параллельно военным баталиям на присоединенные территории сразу пошли научные экспедиции. Военные колониальные власти не только не препятствовали ученым, но, напротив, активно содействовали им. Так, например, комплексная Туркестанская экспедиция Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии при Московском университете была организована по поручению первого туркестанского генерал-губернатора К.П. фон Кауфмана (1818—1882).

Возможно, что эпистолярный Пичугина так и остался бы невостребованным, но Елена Васильевна была замужем за Анатолием Петровичем Богдановым (1834—1896) — выдающимся русским антропологом и зоологом, основавшим упомянутое Общество любителей естествознания, антропологии и этнографии. Именно ему Россия обязана становлением антропологии и, в частности, краниологии (от греч. слова, обозначающего «череп»). Как антропологи — «охотники за черепами» — добывали свой первичный материал, рассказывает публикуемое ниже письмо полковника Пичугина, которое могло бы послужить прекрасным началом для приключенческого научно-популярного романа.

**Кульджа, 3 июля 1871**

Милая Леля,

в последнем письме я писал тебе, что еду на китайскую границу, где у нас завязались военные действия с нашим соседом — султаном Кульджинским. 4 июня я выехал из Верного и 8-го, в свите военного губернатора Колтаковского, приехал на наш пограничный пункт Бороходзир. 12-го началась экспедиция. Я не стану

утомлять тебя военными подробностями, неинтересными для тебя; ограничусь только несколькими фразами о них. 16-го было первое дело при Алимту. Оно было закончено кавалерийскою атакою. <...> 18-го при крепости Чижча-Хози было второе дело, где мне пришлось побывать под огнем, лошадь моя была ранена; затем я командовал колонною на приступе крепости, стены которой были вышиною с ваш Кремль. Можешь представить, как жалок, следовательно, наш неприятель. Едва десяток людей сопротивлялся, остальные просили пощады. <...> Мои люди разломали прикладами одни из ворот и вбежали в проломленную щель. Я не мог въехать на лошади и должен был войти пешком. Как только солдаты ворвались, перепуганная толпа, человек 30 или 40, поспешила сдаться. Меня занимало только одно: чтобы солдаты не начали колоть беззащитных и грабить. Милая Леля, мне приятно вспомнить, что в моей колонне не было ни одного убийства. Я кричал так усердно, что совершенно осип в конце дела. Перепуганные женщины, дети, жители выскакивали из домов улицы, по которой мы шли.

Мую лошадь успели провести через пролом, и верхом я мог удобнее распорядиться. Во-первых, в суматохе солдаты тотчас слышали, кто им кричит, во-вторых, жители видели, к кому кидаться и просить пощады. Ты не можешь себе представить эту раблепную и испуганную толпу, которая кидалась в ноги моей лошади.

Мое описание, может быть, заставит тебя улыбнуться (я знаю Вашу недоверчивость): но, моя милая, я советую тебе хотя бы издали посмотреть на взятый штурмом город. Повторяю тебе, приятную, хорошую в жизни минуту провел я, когда вспомнил после дела, что спас около сотни народу. Впрочем, не я один действовал так — другие два колонных начальника также удержали своих солдат. Меня насмешила одна китайка, вероятно из зажиточных, выскочившая из дому. С гри-

масою отвращения, видя себя окруженной солдатами, на своих копытах (называемых из приличия ножками) ковыляла и хромала она за мою лошадью, чтобы не отстать от меня. Брезгливость, боль и страх так забавно перемешивались на ее лице, что могли рассмешить всякого. Чрез полчаса я видел сцену совершенно в восточном вкусе. Колпаковский, проехав со свитою чрез заколотые трупы, лежавшие в воротах (только это были не мои ворота), остановился на небольшой площади, осеянной великолепнейшими серебряными тополями и вязами. На площади, среди штыков, было собрано несколько сот человек народу. Впереди женщины с детьми, за ними — мужики, смуглые дунганки в китайском платье с китайскою прическою были для меня очень оригинальны. Иные из них казались даже милостивыми. Все это упало на колени и припало лбами к земле. Колпаковский объявил им безопасность личную и сохранение имущества.

19-го мы опять имели дело. После этого султан Абиль-Огля явился в лагерь и выразил полную покорность.

22-го мы заняли Кульджу, город с 10 000 жителей. Я имел удовольствие с передовым отрядом вступить в город и занять его первым. <...>

Кланяйся мужу и передай ему, что я воспользуюсь своим влиянием в отряде и на коменданта, чтобы доставить ему по несколько черепов: китайцев, калмыков или дзунгаров, киргизов, дунгений и таранчей, т.е. здешних сартов. Все это мне обещано, нужно только сделать осторожно. Отрывать же головы от влявших на полях сражений трупов решительно не имели времени. Можешь сама рассчитывать на некоторые китайские вещицы; а для музея приобрету фотографическую коллекцию разных типов здешнего разноплеменного населения, потому что с отрядом есть фотограф. Целую тебя крепко. П.Пичугин АРАН. Ф.446 (А.П.Богданов). Оп.7. Д.28.

С.М.С.

# Из писем А.Н.Крылова дочери

Е.Л.Капица,

*кандидат биологических наук*

*Мемориальный музей П.Л.Капицы при Институте физических проблем РАН  
Москва*

## Наши разговоры, которые послужат прологом

Довольно скоро после того, как я начала работать в Музее Петра Леонидовича Капицы, его вдова, Анна Алексеевна, стала мне постоянно говорить: «Ты должна записать мои рассказы о нашей жизни». Наши разговоры с магнитофонной их записью начались в 1991 г. Я часто приходила в ее уютную красивую квартиру, мы усаживались в глубокие кожаные кресла, и Анна Алексеевна начинала свой рассказ о прожитом. Она больше любила вспоминать свою жизнь с Петром Леонидовичем, для нее было главным — сохранить как можно больше правдивых и прямых свидетельств. Она хотела в меру своих сил уберечь его биографию от всяческих измышлений и лжи. Но иной раз разговор принимал другой оборот, и Анна Алексеевна возвращалась мыслями к своему детству и юности, к тем годам, которые во всех архивных материалах она помечала «до Петра Леонидовича». Эти рассказы были уже о семье другого выдающегося русского ученого — Алексея Николаевича Крылова, и снова любое ее свидетельство было бесценно.

Родилась Анна Алексеевна в 1903 г., и перед ее глазами прошел почти весь XX век. До последних дней, а скончалась она в возрасте 93 лет, сохранила Анна Алексеевна живейший интерес к происходящему, темпераментно переживая наши политические и бытовые коллизии. «Жизнь человека длится, пока ему интересно», — любила она повторять.

«Я была пятым ребенком в семье. Первая девочка, названная Анной, умерла в семилетнем



**Алексей Николаевич и Елизавета Дмитриевна  
Крыловы вскоре после бракосочетания.  
Начало 90-х годов.**

возрасте от общего туберкулеза. Вскоре родилась еще девочка, ее снова назвали Анечкой, но ей не суждено было прожить и нескольких месяцев. Потом появились мои братья, погодки — Коля и Алеша, а еще спустя лет шесть снова родилась девочка и ее снова назвали Анной, это и была я. Я — Анна третья».

Сюжет, представленный в этой публикации, найдет более полное отражение в книге «Двадцатый век Анны Капицы», которая выйдет в издательстве «Аграф». Все фото предоставлены Музеем П.Л.Капицы.

© Капица Е.Л., 2004



Анна Ипполитовна Тюбукина-Филатова, в честь которой дочь Крыловых получила свое имя. 1877 г.



Отец и дочь. На даче в Финляндии. 1904 г.

Меня поразило такое упорство в выборе имени для дочери. Ведь даже очень здравомыслящий человек, на мой взгляд, не мог не поддаться ощущению рока, висящего в семье над именем Анна.

«Я думаю, — объяснила мне Анна Алексеевна, — имя Анна было так дорого маме вот почему. Моя бабушка умерла очень рано. Дедушка, Дмитрий Иванович Драницын, был чиновником довольно высокого ранга, вот и натура у него была чиновничья. Мне рассказывали, что человеком он был очень малоприятным, такой самодур — деспотичный и грубый. Детьми своими, которых у него было четверо, он тяготился, никакой привязанности к ним не испытывал, а, овдовев, постарался поскорее распределить их в разные институты подальше от себя. Мою маму еще маленькой он забросил в институт в Казань. И вот с этого времени большее участие в ее судьбе начала принимать родная сестра ее матери — Анна Ипполитовна Тюбукина-Филатова. У них с мамой возникла какая-то особая душевная близость, они сильно привязались друг к другу, стали очень дружны. Бесконечная любовь и благодарность к Анне Ипполитовне, согревавшей маму в ее сиротстве, и побуждала всех рождавшихся девочек называть в ее честь. <...>

Каникулы мама всегда проводила в имении у Анны Ипполитовны среди всей нашей многочисленной родни, а родня у нас была колоссальная — Филатовы, Ляпуновы, Жидковы, Сеченовы. Молодежь — бесконечное количество двоюродных братьев и сестер приблизительно одного возраста, очень либеральные и просвещенные люди. Достаточно сказать, что племянницей моей бабушки была знаменитая революционерка Вера Фигнер. И мама все время вертелась в этом либеральном обществе. Неудивительно поэтому, что, окончив институт в Казани, она сразу же решила ехать в Петербург и поступать там на Высшие женские (Бестужевские) курсы. Тогда в либеральных кругах считали, что в России должна быть культура и женщине непременно нужно продолжать образование, работать, быть самостоятельной, а не только женой и матерью».

В Петербурге и произошло знакомство юной Елизаветы Дмитриевны Драницыной с блестящим морским офицером — Алексеем Николаевичем Крыловым. Надо сказать, что они были достаточно близкими родственниками — троюродными братом и сестрой.

«Когда мама решила ехать в Петербург поступать на курсы, — продолжает свой рассказ Анна Алексеевна, — Анна Ипполитовна написала в Петербург своей родственнице — Софье Викторовне Крыловой и попросила опекать молодую девушку. И тут довольно скоро начался роман у мамы с Алексеем Николаевичем. Софья Викторовна была сначала в ужасе: как это так, ей поручили девушку, и вдруг сын решил на ней жениться. К тому же — близкие родственники. Но в конце концов все уладилось. Мама вышла замуж, еще не окончив



Семья Крыловых в квартире на Зверинской ул. в Санкт-Петербурге. Слева от Ани — дедушка Николай Александрович, справа — бабушка Софья Викторовна и брат Алеша. За спиной Ани стоят ее мама Елизавета Дмитриевна, брат Коля и отец Алексей Николаевич. Около 1910 г.

курсов, — выпускалась она уже не Драницной, а Крыловой».

Карьера Алексея Николаевича Крылова была блестящей и стремительной. Ко времени рождения Анны Алексеевны он уже крупный ученый, математик, кораблестроитель, произведен в подполковники.

«В моих детских воспоминаниях отец — высокого роста, плечистый, с густыми черными волосами и окладистой черной бородой. Творчество всегда его поглощало, оно было частью его жизни. Алексей Николаевич никогда не бывал праздным. Чтобы отвлечься от одной работы, он находил другую. Но это не был кабинетный ученый, он всегда находился среди людей. Блестящий рассказчик, очень остроумный, он любил веселый сольный анекдот и шутку. В молодости папа играл в теннис, ездил на велосипеде и очень увлекался стрельбой в цель.

Когда я была совсем маленькой, мы жили на Зверинской, это недалеко от Тучкова моста, на Петроградской стороне. И вот там, на Зверинской, я помню бабушку и дедушку Крыловых, которые постоянно к нам приходили. Дедушка меня всегда дразнил, и поэтому я его немного побаивалась. Бабушка очень любила нас всех обшивать — всевозможные блузы, которые мы носили летом, — это все делалось руками бабы Сони. Я вос-



Аня с матерью в Петрограде. Шла первая мировая война.



Алексей Николаевич Крылов (1863–1945).  
Снимок относится к 1910-м годам.

питывалась очень демократически, по нашим теперешним выражениям. Папа был достаточно обеспеченным человеком, но у нас в семье никогда не было стремления к роскоши, была хорошая интеллигентская среда. Любимая книга мамы — Некрасов, особенно «Русские женщины». Они запали мне в душу с самого детства. Вероятно, отсюда мое чувство долга перед Петром Леонидовичем — дружба и стремление никогда не подводить, полное доверие, полная поддержка во всех случаях жизни.

Позже мы переехали на Каменноостровский, где родители снимали очень хорошую большую квартиру на втором этаже. У нашего дома был громадный задний двор и большой запущенный сад. Во дворе дома находился крошечный механический завод, принадлежавший друзьям Алексея Николаевича. На этом заводике делали все его необыкновенные приборы. Он был знаменит именно изготовлением уникальных приборов ручной работы.

Началась эта страшная война 1914 года. Изменилась жизнь и нашей семьи. Мама окончила курсы медсестер и все время работала в разных госпиталях, в лазаретах. Да и в доме у нас постоянно бывали, а иногда и жили раненые солдаты. Мама вела довольно большую работу, но все это было совершенно незаметно, как само собой разумею-



Николай Крылов. 1916 г.



Алексей Крылов. 1916 г.

щесся. Детей военные события пока не коснулись — братья поступили в Политехнический институт на кораблестроительный факультет, а я продолжала учиться в школе.

Примерно в это же время у папы возник очень серьезный роман с Анной Богдановной Ферингер. Для мамы это был тяжелейший удар — узнать о папиной измене. Она была в этом отношении безо всяких компромиссов и не могла даже подумать, что если Алексей Николаевич ей изменяет, то может быть хоть какое-нибудь прощение. Мама поручила нас своей сестре Ольге Дмитриевне, а сама уехала на фронт сестрой милосердия. Когда мама уехала на фронт, папа был очень этим озадачен, но мама, если что-то важное решала для себя внутренне, уже не могла от этого отойти.

На фронте мама пробыла около полугода, и когда вернулась домой, внешне у нас в семье все сохранялось как прежде. Но война продолжалась, и жить становилось все сложнее и сложнее. К тому же весной 16-го года начался призыв студентов младших курсов в действующую армию. Братьям пришлось уйти из института, и они поступили в юнкерские училища: Алеша — в Михайловское артиллерийское, а Коля — в Инженерное. Это давало возможность идти в армию не солдатами, а самым младшим офицерским чином, прапорщиками, наверное.

Кончался 16-й год. Я хорошо помню волнение в доме — убийство Распутина, радость, разговоры, детали убийства. Это взбудоражило всех, произвело колоссальное впечатление на интеллигенцию. Говорили о том, что делается на фронте, какой развал. После Нового года, 1917-го, начались бурные события. Конец февраля — революция, отречение царя, общая радость, все вздохнули свободно. Интеллигенция встретила Февральскую революцию очень хорошо.

Запечатлелись в памяти споры взрослых, которые меня мало касались, и такая картина: белая кафельная печка, фигура папы. Он или стоит около печки, или сидит утром за столом, но видна только газета. Он просматривает «Новое время». Мама читает «Речь».

Летом 17-го года стало трудно с продовольствием, и было решено, что старшие классы нашей школы вместе с некоторыми родителями переедут на юг, в Анапу. На юге было жить легче.

С этого времени семья наша распалась окончательно — мы с мамой уехали в Анапу, папа остался в Петрограде, братья ушли на фронт. Коля довольно быстро соединился с нами в Анапе. Алеша воевал до полного распада германского фронта.

Через некоторое время Алеша покинул Западный фронт и включился в Белое движение. Коля тоже ушел в Белую армию, хотя был абсолютно не военным человеком, воевать для него было ужасно. Но как офицер он не мог не войти в эту армию. Алеша со своим темпераментом больше подходил к войне, она его как-то захватывала. Очень скоро



Отец и дочь в Париже. Начало 20-х годов.

мы с мамой получили известие, что Коля убит под Ставрополем (17 ноября 1918 г.).

В 19-м году к нам в Анапу на короткий срок заехал Алеша и отправился дальше в Новороссийск. Там он вскоре поступил на бронепоезд, воевал и под Харьковом тоже был убит (9 июля 1919 г.).

Эти страшные смерти, гибель обоих сыновей, потрясли маму. Она была в ужасном состоянии. У нее произошел какой-то душевный переворот — она стала очень религиозным человеком и в этом находила успокоение. Мама решила, что меня нельзя оставлять в России — того и гляди я тоже уйду на фронт, тогда такое было настроение. А любила меня мама страстно. Но это я оценила много позже и, вероятно, часто доставляла ей если не горе, то боль. Но я была совершенно самостоятельна

в своих вкусах, своих связях, дружбе и вообще в жизни. Я тоже очень любила маму, но близости, которой ей бы хотелось, у нас не было.

Мама решила эмигрировать, мы уехали за границу и через некоторое время обосновались в Париже. Когда мы переехали во Францию, там уже был в командировке папа. Мы встретились. После пережитой трагедии — гибели сыновей — родители помирились вполне. Мама поняла, что семейной жизни у них не может быть, но дружба и любовь остались. Существовала я — и для того, и для другого. Они оба сосредоточили свою любовь на мне и как бы в этом снова слились духовно. Их соединило общее горе и любовь ко мне, единственному оставшемуся ребенку из пяти! Папа всегда смотрел, чтоб мы с мамой ни в чем не нуждались, чтоб у нас было достаточно средств.

В Париже папа жил с Анной Богдановной Ферингер, которая и была причиной разрыва родителей. Занимался самыми разнообразными флотскими делами. Кроме того, он никогда не прекращал научной работы, ведь он был математик, а математику не надо лаборатории, ему нужны карандаш и бумага. Я думаю, что ему просто хотелось жить за границей. Мой отец всегда находился вне политических событий. Он для своего класса был чрезвычайно странным человеком, принимал любое правительство, не обращая на него особенного внимания. Все правительства были одинаково плохи для него, он никакого не уважал и никакого не доверял. Теперь, когда я смотрю на его жизнь, то понимаю, что Алексей Николаевич смотрел на

наше правительство, как на землетрясение, наводнение, грозы. Что-то существует такое, но надо продолжать свое дело. Поэтому отец совершенно спокойно после Октябрьского переворота оставался, собственно, в том положении, в котором был раньше, преподавал в той же Морской академии. И, в конце концов, ему предложили стать начальником Академии, на что он согласился. Конечно, это было в высшей степени странно: шел 18-й год, папа был полный царский генерал и, несмотря на это, совершенно спокойно стал начальником Академии. И тут ему пришлось читать лекции по высшей математике такому контингенту слушателей, которые, на мой взгляд, вообще не знали математики. Это был младший состав, а не офицеры. Но будучи совершенно блистательным лектором, отец все это превзошел, и его слушатели, главное, это превзошли. Он, собственно, их воспитал. Алексей Николаевич считал, что на нем лежит ответственность за судьбу русского флота и нужно делать свое дело. Он много лет работал за границей, мог там остаться, но ему это не приходило в голову. Его психология очень интересна, потому что это совершенно не психология людей его класса».

Пока Анна Алексеевна жила в Париже, она довольно часто виделась с отцом. Переписка между ними началась лишь после замужества Анны Алексеевны и ее переезда к Петру Леонидовичу в Кембридж весной 1927 г. К сожалению, в архиве Мемориального музея П.Л. Капицы сохранились только письма А.Н. Крылова.

## А.Н. Крылов — А.А. Капице

23 июля 1927 г.

Париж

Милая Аня!

Вчера меня призывал наш Генеральный консул Отто Христианович Ауссем и сказал, что тебе паспорт из Москвы разрешено выдать. Для этого необходимо:

- 1) Чтобы ты заявила, какую хочешь носить фамилию, т.е. Капица или Крылова — двух нельзя.
- 2) Прислала 4 фотографических карточки.
- 3) Прислала 12 долларов, если хочешь паспорт на годичный срок.
- 4) Перечислила свои приметы:

а) Рост (в см).

б) Цвет волос.

в) Цвет глаз.

г) Нос.

д) Особые приметы.

Можешь писать и так:

Рост — дьлдоватый.

Волоса — карие.

Глаза — когти.

Нос — луковицей.

Особые приметы: на лбу рожки еще не пробилась, но места для них обозначились... <...>

22 октября 1927 г.

Париж

Милая Аня!

Получил твое письмо. Спасибо за поздравления и пожелания.

В конце будущей недели, вероятно, выеду в Москву, куда меня вызывает Нефтесиндикат для доклада о ходе постройки и о заказе еще двух таких же теплоходов. Побуду там и в Ленинграде, вероятно, недели три, так что вернусь сюда около 1-го декабря.

Я боюсь, что у Елизаветы Дмитриевны не хватит денег, тогда ты ей пошли после ее возвращения в Париж фунтов десять, я затем, когда вернусь, тебе переведу. На днях я должен принимать так называемый Онегинский музей\*, думаю его заодно пополнить некоторыми замечательными редкостями: так на Quai я видел тот самый пистолет, из которого убит Пушкин (цена 5 фр.), и кружевные панталончики Наталии Николаевны. Подлинность их несомненна, так как у них оборвана пуговица. Пушкинский дом Ак. наук, вероятно, созовет Reinach'a, Dussaud\*\* и пр., чтобы решить следующие огромной важности вопросы:

1. Оборвана ли эта пуговица самою Наталией Николаевной, несколько торопившейся, когда ей было: «кюхельбекерно и тошно» или эта пуговица оборвана торопившимся Дантесом.

2. Где находится теперь эта пуговица? Я имею сведения, что она в Мельбурне, и если пр. Гофман просил Ак. наук об ассигновании в его распоряжение 300 фунтов, чтобы съездить в Константинополь, где по слухам продавался веер Нат. Ник., то я хочу просить 500 фунтов, чтобы съездить в Мельбурн и разыскать знаменитую пуговицу. <...>

\* Созданный в Париже А.Ф.Онегиным Пушкинский музей был им подарен Пушкинскому дому (Институту русской литературы) в Ленинграде. А.Н.Крылов и А.Б.Ферингер организовали передачу в СССР собранной А.Ф.Онегиным коллекции.

\*\* Рейнак С. (1858—1932), французский филолог и археолог. Дюссо Р. (1868—1958), французский историк, археолог и семитолог. В 1910—1928 гг. хранитель Лувра.

31 декабря 1927 г.

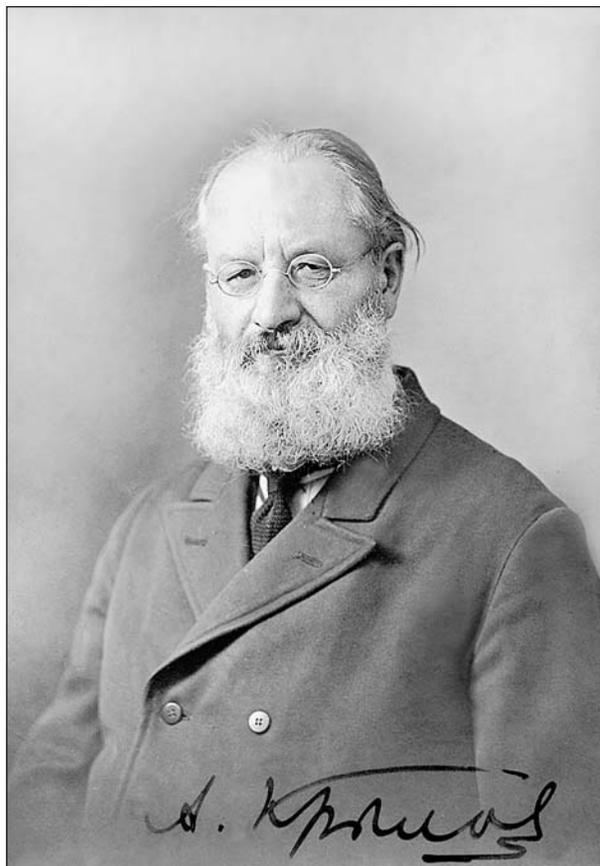
Москва

Милая Аня!

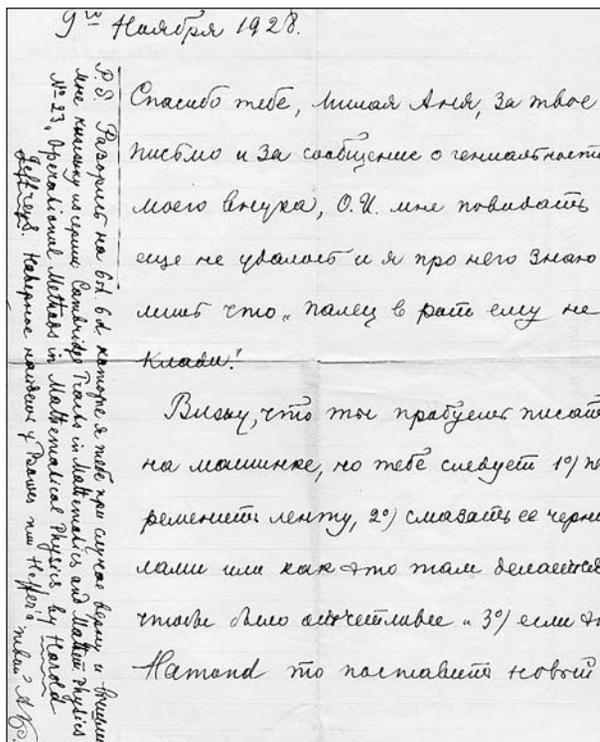
Поздравляю тебя и Петра Леонидовича с Новым Годом и желаю Вам всего хорошего и счастливого.

Как видишь, мое пребывание здесь затянулось гораздо дольше, чем я рассчитывал\*, потому я просил Нефтесиндикат в Париже перевести тебе мое жалование за ноябрь — это для мамы, которой ты и передавай, сколько ей будет нужно, по мере необходимости или как будет удобнее.

Кроме того, я просил Анну Богдановну переслать тебе мою книжку, ты также передай ее маме, когда она приедет.



Алексей Николаевич Крылов. 1920-е годы.



Факсимиле одного из публикуемых писем Крылова.



Анна Алексеевна  
и Петр Леонидович Капицы.  
Кембридж. 1930 г.

*Т.к. Анна Богдановна всегда очень нервничает, то ты ей ничего лишнего и меня касающегося не пиши. <...>\*\**

\* Осенью 1927 г. власти задержали Крылова в России и больше не выпускали за границу.

\*\* Крылов имеет в виду свой разрыв с А.Б.Ферингер и объединение в Ленинграде с другой женщиной — Надеждой Константиновной Вовк-Россохо, или, как ее звали в семье, — Вовочкой.

**25 марта 1928 г.  
Ленинград**

*Милая Аня!*

*Давно собирался тебе написать и пожелать всяческих благ моему внуку, которого даже не знаю, как Вы обоктябрили или окрестили, я предлагаю назвать его или Асклипмодотат или Крокодиллом, будет всю жизнь родителей поминать.*

*Передай прилагаемую записку П.Леон. Дело вот в чем — Cambridge Instrument] S[отрапу]\* изготовляет приборы (сейсмографы) системы Б.Б.Голицына. Может быть, узнав о болезни и тяжелом положении его вдовы, они признают возможным послать ей хотя бы малое вознаграждение за пользование изобретением Бор. Бор. Голицына. Для них какие-нибудь 5 ф. ст. время от времени ничего не значат, а здесь это будет уже большая помощь. Попроси П. Леонид. при оказии переговорить, вероятно, он в Cambridge Inst. С. публику знает.*

\* Кембриджская инструментальная компания.

**8 апреля 1928 г.  
Ленинград**

*Милая Аня, сегодня получил посылку кофе, — спасибо, но ты сделала ошибку. Я тебе писал, что надо*

*посылать не более двух килограммов, т.е. четырех английских фунтов, ты же насыпала в жестянку 2 кг 600 г, поэтому за 2 кг взяли пошлину по 5 руб. за кг, а за 600 г избыточных — по 2 р. 50 к. за 100 г, т.е. 15 руб. Имей это в виду, и если что попрошу прислать и укажу норму, то надо ее соблюдать точно.*

*Милая Аня, написал тебе открытку №1, показал Вовочке (Н.К.Вовк-Россохо. — Е.К.), и она меня разнесла: за твоё здоровье в день твоего рождения пили вкусный кофе, за который тебе сказал одно слово спасибо и написал десять строк назидания. И вышел, как Вовочка говорит, неблагоприятное животное. Всего хорошего всем вам, жду фотографий, чтоб видеть тебя толстухой.*

**22 июня 1928 г.  
Ленинград**

*Милые и дорогие Лиза и Аня!*

*Винюват перед Вами, что так долго не писал.*

*Совсем окунулся в академическую жизнь, но, кроме того, имею и другие занятия практического рода, состоя консультантом Нефтесиндиката и Научно-технического управления морским ведомством.*

*По Нефтесиндикату участвую здесь в Центр[альном] суд[остроительном] бюро по проектированию нефтеналивных судов и присматриваю на заводе «Русский дизель» за изготовлением цилиндров для «Азнефти» и «Грознефти» взамен лопнувших. По Науч. техн. упр. Главным образом занимаюсь по артиллерии, написал целую книгу (около 15 п[ечатных] листов) о вращательном движении снаряда, теперь начинают печатание. Кроме того, разрабатываю программу интересных опытов на осень в Севастополе.*

*Без малого каждую неделю езжу в Москву по судостроительным делам. Обыкновенно на один, много на два дня. Поезда очень удобные, вечером в 11 ч. 30 мин. ложусь спать в международном вагоне, ут-*



**Петр Леонидович Капица с сыном Сергеем.  
Кембридж. 1928 г.**

ром в 9 ч. 30 мин в Москве, а на другой день утром опять дома.

Академия теперь занята предстоящими выборами 40 новых членов примерно в декабре месяце.

Поблагодари Петра Леонидовича за все, что он сделал для Голицыной, я получил от нее письмо, но оно относится, по сути, не столько ко мне, а к Петру Леонидовичу, который все выхлопотал. <...>

**9 ноября 1928 г.  
Ленинград**

Спасибо тебе, милая Аня, за твое письмо и за сообщение о гениальности моего внука. О.И. (Ольгу Иеронимовну Капицу, мать Петра Леонидовича. — Е.К.) мне повидать еще не удалось, и я про него знаю только, что «палец в рот ему не клади».

Вижу, что ты пробуешь писать на машинке, но тебе следует 1) переменить ленту, 2) смазать ее чернилами или как это там делается, чтобы было отчетливее, и 3) поставить новый цилиндр со шрифтами, а то представляется, что на всем развале не нашлось более расхлябанной, но все-таки читать можно.

Статью П. Леон. получил, спасибо большое, просмотрел. И, хотя этими вещами не занимаюсь, но думаю, что таких статей «крокодилу» (прозвище Э.Резерфорда, данное ему П.Л.Капицей. — Е.К.) не часто приходится представлять в Royal Society. Абрам Федорович Иоффе очень хвалит, а в таком деле

на него положиться можно. Посылаю П. Леон. две моих статейки. <...>

**9 января 1929 г.  
Ленинград**

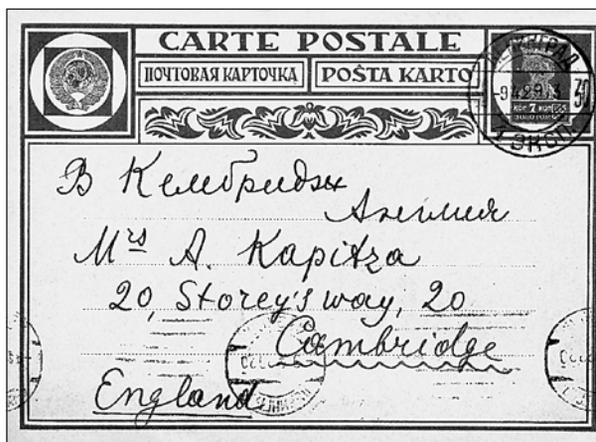
Милая Аня!

Давно тебе не писал. Карточку моего внука получил и по его виду и твоему описанию не сомневаюсь в его гениальности.

Я все по-прежнему два дня каждую неделю в Москве, а пять дней здесь. В Москве дело живое — Совторгфлот разрабатывает типы и общие проекты судов, которые будут строиться в ближайшее время. Работа в техническом отделе поставлена очень разумно, заседания ведутся деловито, без болтовни, так что работать приятно. <...> В Академии выборная страда кончилась, так что осталось лишь Общее собрание 12 января, которое должно утвердить выборы, но это больше формальность. Кроме того, по Академии мне приходится сидеть в заседаниях Президиума два раза в неделю — эти заседания невыносимы по мелочности и пустяковине, которые обсуждаются часами. Я предупредил, что, как войдут новые члены, то я от обязанностей академика-секретаря Отделения отказываюсь, пусть выберут кого помоложе и чистого ученого, а я обсуждать полчаса вопрос вроде того, кого посылать в составе делегации на 50-летний юбилей Казанского археологического общества, не могу, мне такая пустяковина противна. <...>

**20 января 1929 г.  
Ленинград**

В прошлый четверг А.Ф.Иоффе дал мне подписать вместе с П.П.Лазаревым представление П. Леонид. в члены-корреспонденты Академии и сообщил, что в середине апреля ты собираешься вместе с ним приехать сюда. I believe you are both just as



На таких открытках (с советским гербом и английской маркой) миссис А.Капица получала послания отца.

*childishly unreasonable as your baby\** — ты теперь взрослая дама, так по-английски оно вежливее выходит. Ты, видимо, забыла, что у нас новый стиль и середина апреля — это по старому начало апреля, т.е. самое худшее время — Нева обыкновенно еще не прошла, с улиц скалывают грязный зимний лед — погода ни весна, ни зима, самая что ни на есть для простуды, а проживая так долго, как ты, в южных и теплых климатах, от нашей апрельской весны отвыкаешь. Ты должна помнить про бывший у тебя плеврит и пр.

Насколько отвыкаешь от климата, скажу про себя. Я жил в Питере с 1877 г. по 1921 г., т.е. 44 года и, как знаешь, зиму и лето ходил в том же самом пальто, никогда не хворал, разве только насморком и хрипотой на два дня. Так вот, вернувшись в прошлом году сюда (в ноябре), я к концу ноября захватил какой-то поганый кашель, который и мучил меня до июня. Я в этом году, опасаясь повторения, перешел Николая Александровича (отца Алексея Николаевича. — Е.К.) енотовую шубу на пальто, и пока хорошо.

Сюда можно приезжать и тебе и ПЛ. не в середине апреля, а в середине мая, когда будет уже тепло и весь лед будет свезен, улицы вычищены и погода вообще теплая. <...> Пошевели мозгами и, прежде чем ехать, сообрази все как следует. <...>\*\*

\* Я полагаю, что вы оба столь же по-детски неблагоприятны, как и ваш ребенок (англ.).

\*\* Крылов пользуется намеками и иносказаниями, желая предостеречь Капиц от приезда в СССР. Беспокоясь, что Анна Алексеевна и Петр Леонидович могут этого не понять, он просит математика Я.В.Успенского, отправлявшегося в командировку за границу, где можно было не опасаться перлюстрации писем, написать Капицам все как есть. Кстати, сам Успенский из зарубежной командировки не вернулся, стал «невозвращенцем».

Я.В.Успенский — П.Л.Капице 9 апреля 1929 г. (Берлин):

Многоуважаемый Петр Леонидович!

Пишу Вам по поручению Алексея Николаевича Крылова, который просил меня сообщить Вам о нижеследующем. А.Н., узнав, что Вы собираетесь приехать в СССР для временной работы, убедительно просит Вас не делать этого. Положение сейчас таково, что никаким гарантиям того, что Вас по истечении некоторого срока выпустят обратно, доверять нельзя. Приехав однажды в СССР, Вы рискуете остаться там навсегда. Но, допустив даже, что этого не случится, все-таки можно очень сомневаться, что Вам удастся вести работу при таких условиях, какие Вы имеете в Кембридже. Поэтому А.Н. просит Вас отменить Ваш приезд в СССР и известить об этом А.Ф. Иоффе под каким-либо благовидным предлогом или еще тянуть дело так, чтобы не сказать ни да, ни нет. Обо всем этом нужно писать осторожно и дипломатически, что Вы, вероятно, и сами понимаете. <...>

С искренним уважением, Я.Успенский

Анна Алексеевна и Петр Леонидович на этот раз к настойчивым предостережениям Крылова прислушались и в Россию не поехали.

1 апреля 1929 г.

Ленинград

<...> Мама пишет, что ты стала совсем belle-fetте, непременно снимись и пришли фотографию, да не любительскую дрянью, а хорошую. <...>

28 сентября 1929 г.

Ленинград

<...> Сегодня возвращался из Москвы с П.П. Лазаревым. Передай П.Леон., что Crowther'у\* в Москве было оказано полное внимание — П.П. сам ему показал все главнейшие научные учреждения. Так что Crowther мог получить в короткое время полное представление о их работах. Вероятно, он будет описывать это в «Manchester Guardian», если тебя не затруднит, пришли его статьи, интересно, что он скажет — видимо, парень толковый...

Затем еще к тебе просьба: закажи какому-нибудь книготорговцу, чтоб он достал в Лондоне «Report of the Committee appointed by the President of the Board of Trade to advise an Load lines of Merchant Ships».

Этот Report вышел недавно, предлагают новые правила «грузовой марки» и высоты борта. А так как мы спешно проектируем громадный танкер, то, чтобы не пришлось переделывать, надо сразу сообразовать с новыми правилами. Одно мне удалось предугадать — по старым правилам для нашего корабля превышения носа над серединой полагали не менее 2,45 метра, я велел делать 3,5 — по новым правилам будет требоваться не менее 3,30 м, ну да всего не угадаешь.

Твою карточку все жду, может быть, к совершеннолетию Сережи и получу. <...>

\* Дж.Краузер был научным публицистом и приехал в Россию, чтоб написать о развитии науки в СССР, с рекомендательным письмом Капицы.

4 ноября 1929 г.

Ленинград

Спасибо тебе за присланный Report, он мне весь-ма пригодился, видимо, здесь это пока единственный экземпляр и в Судопроекте с ним не расстанутся. <...> Жду карточку!

31 декабря 1929 г.

Ленинград

<...> Спасибо тебе за карточку, которая в смысле фотографического искусства очень хороша, но видно, что фотограф нагнал на тебя такую серьезность, как будто ты собираешься представиться архиепископу Кентерберийскому.

Я по-прежнему занят проектом 15 000-тонного теплохода — проект подходит к концу, надо तो-ропить, т.к. решено строить сразу два таких корабля. <...>

Ты писала, что ПЛ. занят устройством новой лаборатории холода и сжижения газов, передай ему, что надо соблюдать крайнюю осторожность при накачивании под большими давлениями кислорода, особенно надо опасаться масла в цилиндрах насоса, сепараторах или баллоне. Когда давление кислорода достигает 150 атм., то масло само воспламеняется и происходит взрыв. Пусть хорошенько разузнает и примет все предосторожности. Пока не умели обращаться, у нас лет 28 тому назад было несколько случаев. <...>\*

\* ПЛ.Капица — Крылову 18 января 1930 г. (Кембридж):

Дорогой Алексей Николаевич,

<...> Что касается Ваших замечаний насчет мер предосторожности, то большое спасибо за них. Я все время озабочен ими. Мы думаем производить до 9 литров жидкого водорода в час, и это большая опасность. Будем употреблять вместо жидкого воздуха (для предварительного охлаждения) жидкий азот. Машина для его получения в больших количествах уже работает (12 литров в час). Потом у нас налажена вентиляция. Есть один аппарат, который обнаруживает 1—2% водорода в комнате. Этот детектор приводит в действие реле, причем все машины автоматически останавливаются, а окна открываются. Думаем насчет испытания к середине будущего месяца...

Внук Ваш растет и умнеет. Проявляет значительные зачатки ума и сообразительности, игрив и весел и нас всех забавит. Особо любит он ездить на автомобиле и ревет, когда его мало катают.

Анна регулярно ходит в библиотеку. Что там делает, не знаю, но, по-видимому, занимается. Все мои стремления убедить ее, чтобы она поступила тут в университет, остались без успеха, ее прямо принимали как В.А. (бакалавра искусств. — Е.К.) и предлагали защищать после написания докторскую диссертацию. Может быть, Ваше отцовское внушение повлияет.

Может быть, соберемся этим летом (август — сентябрь) в Питер. Что Вы об этом думаете? С Вашими советами, как Вы знаете, мы весьма считаемся...

**4 февраля 1930 г.  
Ленинград**

<...> Письмо твое и карточку Сережи получил дня четыре тому назад, а сегодня получил и кофе — спасибо большое.

Карточка Сережи меня невольно заставила вспомнить книгу, изданную лет 45 тому назад знаменитым балетоманом и еще более знаменитым взыскателем К.А.Скальковским «О женщицах».

О ее содержании можешь судить по началу: «Женщина состоит из души, тела и платья. Самое несомненное это то, что у нее есть тело, платье не всегда бывает и без платья женщина много интереснее, нежели в платье. Что касается души, то, хотя и исписаны горы фолиантов за и против ее существования у женщины, но вопрос этот и до сих пор окончательно не решен». Так вот, Скальковский



Анна Алексеевна в 1929 г. Снимок сделан по просьбе отца.

в одном месте пишет: «только та жена верна своему мужу, у которой некрасивые колени». Хотя у Сережи и очень красивые колени, но это не резон, чтобы их ставить в фокус при съемке карточки, а лицо не в фокусе. <...>

**6 мая 1930 г.  
Ленинград**

<...> Послал тебе вчера опять в письме поручение — прости, что надоедаю, хотел тебе что-нибудь послать в подарок и, написав «6 мая 1930 г.», вижу, что по старому стилю это столетие со дня рождения моего отца, а твоего деда Николая Александровича. <...>

Переписка Н. Ал. с моей бабушкой, его матушкой Марией Михайловной охватывает 50 лет с 1842 по 1892 г. Особенно замечательны письма за время 1854—1857 г., т.е. Крымской войны, воцарения и коронации Александра II\*. Здесь можно проследить, как молодой лихой офицер, сперва горячий патриот, превращается в ненавистника царей и их режима.

Много повлияло, например, и то, что их батареею на войну послали с 60-ю зарядами на орудие, а на коронацию с 500 для салютов. <...>

\* Значительная часть этих писем сохранилась в архиве семьи Капиц и представляет собой уникальный исторический документ, требующий публикации и изучения.



Сергей Капица с братом Андреем на фотографии, посланной Алексею Николаевичу. Кембридж. 1931 г.

**24 апреля 1931 г.  
Ленинград**

<...> Как я подсчитал, то оказалось, что я целые полгода тебе не писал, но зато тебе писала Вовочка. Не сердись и пиши.

Посылаю тебе циркуляр Лондонского отделения ВОКСа, т.е. Всесоюзного общества культурных связей, Центральное управление которого в Москве. Из этого циркуляра ты увидишь, что через него можно получать интересующие тебя плакаты\*. Надо тебе сказать, что здесь книги расходятся так быстро, что если две-три недели пропустить, то и не достанешь.

Это не только художественные издания, так моя книжка, изданная А.Н. о расчете балок в 1000 экз., разошлась в два месяца. Академия решила напечатать второе издание, и уже есть заказов из провинции на 6000 экз. <...>

\* Анна Алексеевна коллекционировала плакаты первых лет после революции.

**18 сентября 1931 г.  
Ленинград**

<...> Спасибо тебе за фотографии внуков, но все-таки советую тебе вместо Андрея давать Сергею как игрушку или какую-нибудь куклу или щенка. Они гораздо прочнее, а щенок еще тем хорош, что через год он будет себя считать умнее Сергея и будет нянчить его. Подумай об этом. <...>

**13 апреля 1932 г.  
Ленинград**

<...> Вчера мне попал у букиниста прекрасный экземпляр полного Собрания сочинений П.Н.Лебедева. Спроси у П.Л., есть ли у него эта книга, если нет, то я пришлю. Приборы, построенные Лебедевым своими руками для измерения светового давления и некоторые другие, почти так же деликатны и нежны, как и некоторые приборы П. Леон. Но все-таки у Лебедева они размерами с черного таракана, а у П. Леон. побольше блохи, но меньше клопа...

**12 февраля 1933 г.  
Ленинград**

<...> Ольга Иеронимовна дала Вовочке твое письмо о моих внуках и об открытии Лаборатории\* или, лучше сказать, о приготовлении к нему. Т.к. П. Леонид. в «вере исправился» и более адское «зелие тютюна» не сосет, то догадался ли он поднести свою старую трубку Baldwin'у\*\* — вот то бы фурур был. А о тютюне, или табаке, в гл. XXV ст. 11-ой Уложения царя Алексея Михайловича сказано: «на Москве и в городах о табаке заказ (по-старинному значит «запрет») учинен крепкий под смертную казнию, чтоб нигде Русские люди и иноземцы всякие табаку у себя не держали и не пили и табаком не торговали. А кто Русские люди и иноземцы учнут торговати: и тех людей, продавцов и купцов (значит покупателей), велено имати и присылати в Новую Четверть и за то людям чинить наказание большое без пощады, под смертную казнию, и дворы их и животуных имая продавати, а деньги имати в Государеву казну...» Так-то учили курильщиков всего 284 г. тому назад.

На открытие Лаборатории все академики-физики, и я с ними, как числящийся по мат. физике, послали Петру Леон. приветственную телеграмму, получил ли он ее? Так как ты нахрапом была на открытии Лаборатории, то опиши, как оно происходило, какие говорились спичи, где вас, присутствующих «ladies», посадили и поминали ли вас, т.е. начи-

\* Речь идет о торжественном открытии Мондовской лаборатории, построенной Лондонским Королевским обществом специально для П.Л.Капицы. См.: Природа. 1994. №4.

\*\* Болдуин С. (1867—1947), премьер-министр Великобритании в 1923—1929 и 1935—1937 гг., с 1930 г. — канцлер Кембриджского университета. Участвовал в церемонии открытия Мондовской лаборатории.

нали ли спичи словами: «My Lord Chancellor, ladies and gentlemen» или обращались к одним джентльменам? В старину Кембриджский университет придерживался монастырских порядков, и там явно ваше женское сословие не жаловали. Тайно — это другое дело. Даже сам Ньютон в своем знаменитом ругательном письме к философу Локку выговаривал ему, что Локк «вердит ему во мнении женщин».

**2 июня 1933 г.  
Ленинград**

<...> Спасибо тебе за присланные иллюстрации. Они очень интересны и поучительны как показатели того, до каких нелепостей доходят в угоду требованиям роскоши диких американцев, забывая, что для корабля первый принцип «safety first».

В 1910 г. на «Титанике» потонуло 1500 человек. Дождутся того, что на какой-нибудь «France», «Normandie» потонет 3000, и тем не менее не проймутся, ибо ум человеческий ограничен, а глупость беспредельна. <...>

**3 августа 1933 г.  
Москва**

<...> Пишу тебе из Москвы, куда приехал на три дня для обсуждения проектов нового типа тепловозов пассажирских — одного для Волги, другого для Черного моря. Суда будут великолетные...

Так как Вы намереваетесь приехать около 15-го августа, то мы с Вовочкой решили одновременно отпраздновать Вашу встречу и день моего рождения — мне минет 70 лет. А так как мой прадед и родоначальник бесчисленной филатовской породы Михаил Федорович жил до 97 лет, то и я хочу следовать его примеру и потому делаю тебе следующие заказы:

<...> Я терпеть не могу, когда подошвы у сапог намокают, поэтому всегда подбиваю резиновые подошвы, а у меня извелись гвозди. Привези с полфунта гвоздей обойных малых, но не проволочных, если найдешь, то красной меди, они лучше расклепываются, а если нет, то железных...

**26 декабря 1933 г.  
Ленинград**

Merry Christmas and Happy New Year, так полагаются в Англии начинать письмо в рождественские дни. Хотя ты и получишь это письмо уже после Рождества, но советую тебе последовать примеру гоголевского городничего Сквозника Дмухановского, который свои именины праздновал и на Антона, и на Онуфрия, а городские купцы должны были приносить ему праздничные даяния в оба эти дня. Так

и ты отпразднуй и по новому, и по старому стилю... Но вот чего Гоголь не предвидел — это кому платили праздничные петербургские частные приставы, наверное, и ты не догадаешься. Это кучерам и шоферам высочайших и высоких особ. Это при мне рассказывал старику Венцелю в 1912 г. частный пристав Петербургской части полковник Кек.

Как ты знаешь, мостовые в Петербурге не отличались исправностью, да по характеру самого грунта и не могли быть постоянно исправны. Этим и пользовались кучера и шоферы. Если он везет по улице, принадлежащей к такой части, частный пристав которой должные дары принес, то каждую ямку, каждую рытвинку объедет остороженько. Но зато, где дары не принесены, то нарочно погонит так, чтобы на каждой колдобине тряхнуть, да так, чтоб особе все печенки отбить. Приедет особа злостая презлостая в Государственный Совет, встретит Министра внутренних дел: «Ах, Ваше...ство, что это градоначальник смотрит, ехал я по такой-то улице — все печенки отбил. Можно же мостовую в порядке держать, вот по таким улицам даже не трягнуло». Министр — градоначальнику нагоняй, градоначальник — частному приставу: одному — головомойка, а другому — благодарность. Догадлив русский человек. <...>

**16 февраля 1934 г.  
Ленинград**

<...> Вероятно, перепечатано и в английских газетах печальное известие, что «Челюскин» льдом раздавлен и затонул. Экипаж сошел на лед. Это тебе назидание — ты хотела проситься в полярное плавание на лето. Это плавание не для туристов, и остров Врангеля не Мальта и не Сицилия. <...>

\* \* \*

В конце лета 1934 г. Анна Алексеевна и Петр Леонидович приехали в Россию на собственном автомобиле. Они совершили замечательное путешествие через Скандинавию. Крылов в письмах подробно инструктировал их, советовал к кому надо обратиться за помощью, какой путь избрать. Это последние большие письма Алексея Николаевича к дочери. После того, как Капицы перебрались в Россию, переписка носила чисто деловой характер, т.к. они могли достаточно часто видеться, а во время войны даже жили вместе в эвакуации в Казани.

После смерти отца Анна Алексеевна передала весь архив и все его вещи в Мемориальный музей А.Н.Крылова в Петербурге, а себе оставила лишь несколько памятных ей вещей, сложив в коробочку с надписью «Папины пустячки», да связку его писем. ■

# Новости науки

## Астрофизика

### Структура активного ядра галактики NGC 1068

Активные ядра галактик — одни из самых мощных и загадочных объектов Вселенной. Занимая микроскопическую долю объема самой галактики, такие ядра порой выделяют на несколько порядков больше энергии, чем вся остальная звездная система. При этом изображение галактики тонет в сиянии ее ядра. Внешние проявления активности галактических ядер довольно разнообразны: основной поток излучения может лежать в любом диапазоне — от рентгеновского до инфракрасного, а иногда из ядра тянутся длинные узкие струи вещества — джеты.

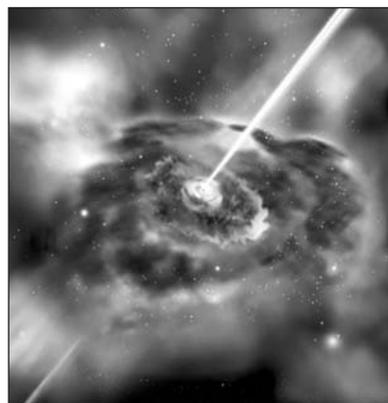
Давно существует подозрение, что генератором энергии активного ядра служит сверхмассивная черная дыра, которая поглощает окружающее вещество. Есть косвенные указания, что в ходе аккреции на черную дыру это вещество образует вокруг нее газово-пылевой тор, похожий на бублик. Многие астрофизики, изучающие активные ядра галактик, в число которых входят и квазары, предпочитают интерпретировать разнообразные наблюдаемые явления в рамках «единой» модели, в соответствии с которой все разнообразие явлений вызвано различием ориентации тора к лучу зрения наблюдателя. Если мы смотрим сквозь дырку в яркую сердцевину тора, то видим непосредственную окрестность черной дыры, самую горячую область аккреционного диска и выходящее отсюда жесткое излучение; а если наш взгляд упирается в наружную стенку тора, то наблюдаем лишь длинноволно-

вое излучение, для которого тор прозрачен.

Чтобы проверить эту идею и уточнить параметры «единой» модели (ибо ее вариантов существует довольно много), требуется изучить структуру тора или хотя бы определить его размер у конкретного объекта. Судя по расчетам, линейный размер тора мал — порядка одного светового года. На расстоянии до ближайших активных галактик это соответствует углу около  $0.05''$ , неразличимому даже для крупнейших одиночных телескопов. Однако система из нескольких таких телескопов оказалась для решения задачи достаточно зоркой.

В июне 2003 г. группа астрономов Европейской южной обсерватории<sup>1</sup> впервые использовала Интерферометр Очень большого телескопа (VLTI) для наблюдения активного ядра внегалактического объекта. Выбор пал на сейфертовскую галактику NGC 1068, хорошо известную любителям астрономии как объект Мессье 77. Эта компактная спиральная галактика 9-й звездной величины видна в созвездии Кита и удалена от нас на 60 млн св. лет. Огромная яркость ее центральной части в оптическом, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, а также большая ширина линий излучения горячего газа в спектре ядра указывают на активные процессы выделения энергии. В центре галактики предполагается присутствие черной дыры массой 100 млн масс Солнца.

Идеальным прибором для изучения ядра этой и в перспективе других активных галактик оказался созданный астрономами Германии, Голландии и Франции интер-



Активное ядро галактики в представлении астронома-художника.

ESO Press Photo 18a/03

ферометрический прибор среднего инфракрасного диапазона. Работая на волне 10 мкм с интерферометром, имеющим базу 200 м (максимальное расстояние между отдельными телескопами VLT), этот прибор дает угловое разрешение около  $0.01''$ . В среднем ИК-диапазоне, от 5 до 100 мкм, лежит максимум излучения тел, нагретых до нескольких сотен кельвинов, что близко к ожидаемой температуре внешних частей газово-пылевых торов, окружающих «центральные генераторы» активных галактик.

При наблюдении объекта NGC 1068 были использованы два телескопа — Анту и Мелипаль, разделенные расстоянием 102 м. Из-за эффекта проекции реальная база интерферометра составила 79 м. Сначала, в качестве эталона, наблюдалась интерференционная картина от практически точечного источника — обычной звезды (при этом глубина модуляции светлых и темных полос достигает максимальной величины); затем — ядро галактики (глубина

модуляции составила лишь 10% от максимума). Расчеты показали, что угловой размер яркого объекта около 0.03'' (на расстоянии до галактики это соответствует линейному размеру около 10 св. лет). Точную форму объекта удастся установить лишь после многократных наблюдений с базами разной ориентации.

Успех эксперимента несомненен: впервые у астрономов появился инструмент для изучения структуры вещества, захваченного центральной черной дырой в активных ядрах галактик. В ближайшие годы это направление работы будет приоритетным.

© Сурдин В.Г.,  
кандидат физико-математических наук  
Москва

## Астрофизика

### В поисках гравитационных волн

Физическая теория предсказывает существование гравитационных волн, представляющих собой подобие «зуби» на поверхности эйнштейновского пространства—времени. Однако реально обнаружить это явление до сих пор не удавалось. Такие попытки предпринимаются с 2002 г. в США с помощью систем LIGO (Laser Interferometer Gravitational wave Observatory — Лазерная интерферометрическая обсерватория по наблюдению гравитационных волн), которая состоит из двух центров, находящихся в противоположных концах страны.

Ныне к исследованиям присоединилась обсерватория VIRGO — компактный франко-итальянский детектор, расположенный в г.Кашина около Пизы. Эта система отличается от американской повышенной защитой от малейших сейсмических колебаний земной поверхности. Обсерватория располагает интерферометром Майкельсона, две трехкилометровые вакуумные трубы которого уложены перпендикулярно друг другу. Прибор разделяет лазерный луч пополам и посылает каждую часть

вдоль своей трубы. Зеркала, установленные в концах обеих вакуумных труб, по 50 раз отражают лучи туда и обратно, прежде чем воссоединить их для создания интерференционной картины.

Согласно теории, гравитационная волна, проходя через интерферометр, двигает зеркала в одной из труб относительно зеркал в другой. А это влияет на характер интерференции. Но разность в длинах не превышает и одной миллионной доли размеров атома! Отсюда — требование к повышенной чувствительности всей системы (американская LIGO уже более трех лет после запуска борется с такими помехами, как слабые землетрясения или даже лесоповал; за последнее полугодие чувствительность приборов удалось поднять примерно в 10 раз). Строительство и оборудование VIRGO обошлось в 75 млн долл.

В соответствии с астрофизическими представлениями, различные гравитационные волны могут быть порождены лишь наиболее мощными явлениями во Вселенной, такими как вспышка сверхновой, столкновение нейтронных звезд и т.п. Когда интерферометры достигнут максимальной чувствительности, появится возможность отличать от постороннего шума и фиксировать по несколько подобных астрономических событий в год. Пока же труднопреодолимыми помехами остаются различные вибрации, в том числе тепловые явления в самом оборудовании, слабейшие колебания интенсивности лазера, повышенные температуры зеркал под влиянием светового луча, микросейсмичность.

Существенная разница между итало-французской и американской системами состоит в подходе к проблеме изоляции оптических приборов от внешних сотрясений и шумов. Так, LIGO использует массивные противовесы и пружины, что увеличивает чувствительность аппаратуры к высокочастотным колебаниям, но мешает фиксировать сигналы частотой ниже 60 Гц, зато VIRGO в меньшей степени зависит от сейсмических

шумов. Ее преднамеренно построили на аллювиальной равнине р.Арно, где слой мягких наносных отложений служит естественной изоляцией от проявлений микросейсмичности. Зеркала и прочая оптика подвешены на шести комплектах спаренных обратных маятников, которые гасят горизонтальные движения, а также на пружинных установках и грузах, противостоящих вертикальным смещениям. Для размещения этих устройств пришлось возводить специальные 10-метровые башни. Надежная антисейсмическая изоляция должна позволить VIRGO обнаруживать волны с частотами ниже 10 Гц. Эта даст возможность регистрировать сигналы, исходящие от близкой к коллапсу двойной системы нейтронных звезд.

Еще одна аналогичная, но меньшая британо-германская система GEO-600 работает в Германии, около Ганновера. В ней применен изощренный метод подвески зеркал, который значительно ограничивает их смещение, вызываемое тепловыми шумами. Эту конструкцию специалисты считают весьма перспективной.

В полную меру исследования развернутся, когда все названные системы заработают совместно, дав шанс зарегистрировать и установить поляризацию гравитационных волн, поступающих из глубин Вселенной.

Science. 2003. V.301. №5631. P.293 (США).

## Космические исследования

### Путь к астероидам

Участвуя в программе изучения малых небесных тел, проводимой Европейским космическим агентством, коллектив британского Открытого университета в Милтон-Кейнсе завершил разработку проекта SIMONE (Smallest Intercept Missions to Object Near Earth — Наименьшие перехватчики околоземных объектов).

В соответствии с этим проектом в 2008 г. с помощью ракеты-носителя «Ariane-5» будут запущены пять спутников общей массой 120 кг и суммарной стоимостью

86 млн долл. (и то, и другое крайне мало по сравнению с другими подобными проектами). Спутникам, которые должны использовать ионные двигатели, предстоит достигнуть своих целей в поясе астероидов между 2010 и 2011 гг.

В задачу бортовых научных приборов входит определение массы, плотности и состава астероидов, а также картографирование их поверхностей. Это необходимо при изучении потенциальной опасности малых небесных тел в случае их столкновения с Землей. В перспективе собранная информация поможет решить вопрос о необходимости уничтожить опасно приближающийся астероид или отклонить его от курса.

Spaceflight. 2003. V.45. №7. P.271 (Великобритания).

### Астрономия. Техника

#### Космический телескоп им. Джеймса Уэбба

После начала успешной работы Космического телескопа «Хаббл» в США приступили к созданию концепции нового, более крупного орбитального телескопа. Первоначально названный Космическим телескопом нового поколения, он получил окончательное наименование JWST (James Webb Space Telescope). Контракт НАСА на изготовление JWST имеет первоначальную стоимость 843 млн долл.

В состав телескопа входит ферма (без кожуха) и большой солнцезащитный экран. Шестигранное сотовое зеркало телескопа с эффективной апертурой 29.4 м<sup>2</sup> примерно соответствует круглому зеркалу диаметром 6.5 м; сегменты сотового — также шестигранные, поперечником 1 м. На их изготовление пойдет бериллиевое стекло или стекло с ультрафиолетовым коэффициентом теплового расширения. На каждом сегменте установлены четыре управляемых микрометрических винта, позволяющих плавно перемещать сегменты для достижения их сонаправленности по трем углам и изменения радиуса кривизны.

Солнцезащитный экран состоит из пяти слоев и снижает мощность светового излучения от Солнца почти на семь порядков величины — с 300 кВт до 23 мВт. Рабочая температура зеркала составит 40 К.

Телескоп будет доставлен в точку Лагранжа L2 в окрестностях Земли.

Space Telescope Science Institute Newsletter. 2003. V.30. №1. P.11–13 (США).

### Космофизика

#### Космические лучи — проблема международная

Известно, что на Солнце в ходе 11-летнего цикла активности временами происходят особенно бурные извержения плазмы. Эти корональные выбросы не проходят бесследно для нашей планеты: за последние два десятилетия от них пострадали несколько искусственных спутников Земли, а в марте 1989 г. наведенные ими токи вывели из строя систему высоковольтной электропередачи в канадской провинции Квебек. Повышение уровня радиации может угрожать здоровью и самой жизни космонавтов.

Попытки прогноза космических бурь обычно основываются на измерениях потока заряженных частиц, идущих от Солнца. Измерения проводят как наземные станции, так и два искусственных аппарата — американский «АСЕ» («Advanced Composition Explorer» — «Передовой исследователь состава») и американо-европейский «SOHO» («Solar and Heliospheric Observatory» — «Солнечная гелиосферная обсерватория»). Оба спутника находятся на таких орбитах, где тяготение Земли и Солнца взаимно уравновешены. Однако для надежного прогноза корональных выбросов требуется значительно больше наблюдательных точек, чем имеется сейчас. К тому же космические аппараты не раз терпели аварии, и в наблюдательных данных появлялись досадные пробелы. К тому

же американским Конгрессом в 2004 г. на 40% сокращены ассигнования на нужды Национального управления по изучению океана и атмосферы и Центра исследования космоса, который отвечает в США за изучение солнечно-земных связей.

С конкретной идеей создания развитой системы наземных наблюдательных станций выступил недавно А.Чилингарян — руководитель отдела космических лучей Физического института АН Армении (Ереван). Этот отдел ведет наблюдения на обсерватории Арагац (высота около 3200 м над ур.м.). Предусматривается создание одного-двух прототипных датчиков, способных фиксировать частицы коронального выброса за 30 мин до их вторжения. Построенные на основе таких датчиков приборы должны быть установлены на существующих и новых солнечно-астрофизических обсерваториях, а обработку поступающих данных могут вести национальные компьютерные системы, связанные через систему спутников GPS (Global Positioning System). Практический интерес к этой идее уже проявили научные коллективы из США (Отдел космической погоды Управления по изучению океана и атмосферы, Станфордский центр линейного ускорителя частиц), России (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН), Израиля, Греции, Японии (Лаборатория по исследованию солнечно-земной среды при Нагойском университете) и др.

Впервые подобные предложения были сделаны еще в 1990 г. космофизиком Л.И.Дорманом, ныне возглавляющим Центр космических наук в Тель-Авиве (Израиль), сохранившим свои прежние научные связи с Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН. Его активную поддержку Чилингарян считает важным фактором, способствующим успеху начинания.

История наблюдений космических лучей в Армении восходит к 1943 г., когда в СССР начались работы над первыми образцами

атомного оружия, а мощные ускорители высокоэнергетических частиц еще не существовали. Именно известные физики А.И.Алиханов и А.И.Алиханьян указали на природные космические лучи как на подходящий источник для их изучения. Правда, в разработке атомных бомб обсерватория на Арагаце участия не приняла, зато во время Международного геофизического года (1957—1959) и Международного года спокойного Солнца (1964—1965) ее данные оказались весьма ценными. Но к настоящему времени ее научное оборудование уже устарело как в моральном, так и в физическом отношении.

Реальность и практическая польза инициативы доказываются событиями 14 июля 2000 г.: когда вслед за бурей на Солнце последовал гигантский всплеск космического излучения, обсерватории Арагац и расположенная ниже Нор-Амберд вовремя зафиксировали потоки частиц солнечного происхождения, которые, вторгаясь в атмосферу, порождают заряженные частицы (электроны, протоны, пионы и мюоны низких энергий), а также нейтроны и высокоэнергетичные мюоны.

Астрофизик В.Петросян (V.Petrosian; Станфордский университет) замечает, что, несмотря на не совсем ясную связь между высоко- и низкоэнергетичными частицами, выводы из таких исследований могут оказаться весьма полезными и в атомной, и в космической физике.

Science. 2003. V.301. №5637. P.1175 (США).

## Физика

### Резонансное туннелирование фотонов и бесконтактное трение

Обычное трение возникает в плоскости касания двух прижатых друг к другу тел при их относительном перемещении. Происхождение же бесконтактного трения схоже с природой взаимодействия Ван-дер-Ваальса, которое возникает при спонтанной поляризации атомов и молекул за счет

тепловых и квантовых флуктуаций. Новое исследование физиков-теоретиков А.И.Волокитина (Самарский государственный технический университет) и Б.Н.Перссона (B.N.Persson; Институт твердого тела, Юлих, Германия) показало, что при расстояниях между поверхностями ~1 нм бесконтактное трение значительно возрастает благодаря трем эффектам.

Во-первых, оно усиливается в 100 и более раз (по сравнению со случаем параллельного относительного скольжения), если тела движутся навстречу или удаляются друг от друга. Другие два эффекта обусловлены резонансным туннелированием фотонов. У полупроводников резонансное туннелирование фотонов происходит между модами поверхностных плазмонов (в данном случае трение Ван-дер-Ваальса на четыре порядка выше по сравнению с металлами), а у металлов — между колебательными модами адсорбированных на поверхности металла атомов. Эти атомы действуют, как миниатюрные антенны: электромагнитное взаимодействие в инфракрасном диапазоне существенно возрастает, когда частота передатчика настроена на частоту приемника. По расчетам, трение увеличивается на семь порядков, что согласуется с не объясненными ранее экспериментальными данными, полученными с помощью зондовой сканирующей микроскопии. Резонансное взаимодействие между адсорбированными молекулами приводит также к увеличению радиационной передачи тепла между поверхностями на пять порядков по сравнению с чистыми металлическими поверхностями<sup>1</sup>. При этом излучение и поглощение энергии происходит в чрезвычайно малом объеме, определяемом объемом адсорбированной молекулы. Эффект роста передачи тепла отсутствует, если атомы адсорбированы только в одну поверхность.

Полученные результаты могут найти широкое применение при диагностике и модификации по-

<sup>1</sup> Volokitin A.I., Persson B.N. // Письма в ЖЭТФ. 2003. Т.78. С.926—929.

верхности твердых тел и биологических объектов, а также при изготовлении сенсоров и тормозов для микромашин.

The Physical Review Letters. 2003. V.91. №106101. P.1—4 (США).

## Электроника

### Не понравилось — сотри

Речь идет не о карандашном рисунке, а о микросхеме. «Стереть» ее позволяет предложенный группой английских исследователей<sup>2</sup> способ, представляющий собой логическое продолжение технологии расщепленного затвора. (По этой технологии на поверхность гетероструктуры методом электронно-лучевой литографии наносятся электроды, подача напряжения на них создает в области гетероперехода потенциальный рельеф. Регулируя число электронов в двумерной области, можно формировать систему, состоящую из квантовых нитей и проволок с контролируемой проводимостью.) Новая идея заключается в том, чтобы в качестве электродов использовать поверхностный заряд.

Испытания проводились в высоком вакууме при сверхнизких температурах на образце GaAs/AlGaAs с гетеропереходом на 97 нм ниже поверхности. Электронные ловушки (а их на поверхности этого полупроводника довольно много) в нужных местах заполняли электронами, используя острие атомно-силового микроскопа с проводящим зондом. При подаче на острие отрицательного напряжения электроны стекали с него на ловушки, при обратной полярности — с ловушек на острие, т.е. изображение стиралось. Заряженные пятна локально изменяли проводимость системы, модифицируя конфигурацию токовых путей. Стереть изображение поверхности красным светом в течение пары секунд. Но главное в этой технологии — возможность корректировать формируемую

<sup>2</sup> Crook R., Grabam A.C., Smith Ch.G. et al. // Nature. 2003. V.424. №6950. P.751—754.

структуру по результатам электрических измерений (для которых используется та же экспериментальная установка), добавляя или убирая необходимую порцию заряда. Это очень важно, например, при изготовлении квантового компьютера, состоящего из квантовых точек: теперь их можно сделать действительно одинаковыми, как атомы.

[http://perst.isssp.kiae.ru/inform/perst/4\\_01/index.htm](http://perst.isssp.kiae.ru/inform/perst/4_01/index.htm)

## Биология

### Крупные хищники вымирают быстрее

Американские зоологи еще в 1999 г. исследовали образ жизни значительной части современных хищников. Было установлено, что крупные виды (масса тела одной особи превышает 21.5 кг) отличаются от мелких принципиально иным типом питания.

Сравнительно мелкий хищник может прокормиться беспозвоночными и охотится лишь на тех животных, чья масса тела составляет менее половины массы самого хищника. Более крупный предпочитает жертву массой даже больше, чем его собственная. Это явление, именуемое сверххищничеством, согласуется с энергетическим балансом: лев, например, охотясь на мышь, получил бы много меньше калорий, съев ее, чем потратил бы на ее поимку.

Существовало ли сверххищничество в древности, а если да, то каковы могли быть его последствия? Американский палеонтолог Б. ван Валкенбург (B. van Valkenburgh; Университет штата Калифорния в Лос-Анджелесе) решила проверить это на ископаемых животных. Исследовательница опиралась на результаты изучения давно вымерших североамериканских собачьих, принадлежавших двум подсемействам. Эти животные, как и многие другие, становились в процессе эволюции все более крупными.

В обоих подсемействах палеонтолог выявила признаки сверххищничества — в частности, отно-

сительно длинные челюсти, которые увеличивают мощность укуса. У современных нам псовых признак хищничества — большие размеры поглощаемых кусков мяса.

Выяснилось, что сверххищничество намного чаще встречалось у более крупных древних собачьих, тогда как мелкие обычно были всеядны. Такое различие не могло не влиять на судьбу видов. По утверждению автора, сверххищники существовали на протяжении примерно 6 млн лет; мелкие же виды псовых, которые довольствовались более скромной добычей, оставались на Земле в течение 12 млн лет.

Шведский палеонтолог Л. Верделин (L. Werdelin; Музей естественной истории в Стокгольме) высоко оценил работу Валкенбурга. Причиной выявленной ею закономерности послужила, как он предполагает, более острая конкуренция среди хищников за обладание крупной добычей. А плоды, насекомые, грызуны доставались мелким всеядным хищникам без особого соперничества.

Эти выводы существенны и для специалистов по охране природной среды.

Science. 2003. V.302. №5648. P.11421 (США).

## Биология

### Динго — потомки дворняг

Дикая собака динго — эндемик Австралии, в природных условиях она больше нигде не встречается. Ученые долгое время искали ее местные «корни», однако безуспешно. Теперь австралийский генетик А. Уилтон (A. Wilton; Университет штата Новый Южный Уэльс в Сиднее) установил, что это животное происходит от обычной домашней дворняги, населявшей некогда Старый Свет. По мнению Уилтона, примерно 5 тыс. лет назад предки динго прибыли на Южный континент вместе с первопоселенцами. Люди привезли тогда в Австралию очень немного четвероногих спутников — всего пару или небольшую стайку; не исключено, что это была лишь одна современная самка...

Ископаемые остатки динго — большая редкость, а самые древние из них датируются временем, отстоящим от нас всего на 3500 лет. До островного австралийского штата Тасмания, который отделился от континента проливом 12 тыс. лет назад, они так и не добрались. Поэтому специалисты полагают, что в Австралии динго могли появиться в период между 3500 и 12 тыс. лет назад; вероятнее всего, около 5 тыс. А за много лет до того в Старом и даже Новом Свете их родственники уже были домашними животными.

Шведский исследователь П. Саволайнен (P. Savolainen; Королевский технологический институт в Стокгольме) и его коллеги из Новой Зеландии попытались выяснить происхождение динго по митохондриальной ДНК (мтДНК). Они проанализировали мтДНК от 211 особей динго, населявших самые разные уголки Австралии, от 676 собак из разных стран, 38 европейских и азиатских волков и 19 их ископаемых предков, живших на островах Полинезии. Оказалось, что у всех динго мтДНК весьма схожа. Любые ее вариации включают лишь единственную мутацию и очень мало отличаются от основного типа, свидетельствуя о том, что число основателей современных динго было весьма невелико — единицы особей. Судя по скорости мутаций, вся австралийская популяция существует не более 5 тыс. лет.

Ранее Саволайнен показал, что впервые волка одомашнили около 15 тыс. лет назад в Восточной Азии. Уилтон нашел сходство основного типа динго с некоторыми из псовых Сибири, Восточной и Юго-Восточной Азии, Японии, индонезийского архипелага и о. Новая Гвинея. Отсюда был сделан вывод, что предки динго появились 10—15 тыс. лет назад на территории нынешнего Китая. Затем их прихватили с собой люди, направлявшиеся в Индонезию; конечным пунктом их совместной миграции и стала Австралия.

На Международной антропологической конференции, состоявшейся в конце 2003 г. в Сиднее,

сообщалось, что типичные для динго генетические характеристики у волка не встречаются. Это опровергает мнение, будто у динго есть непосредственные «дикие корни». Вероятно, волкоподобное поведение динго в естественной среде, в том числе волчий вой, развилось, когда бывшие дворняги уже одичали в освоенной ими Австралии.

Сейчас численность динго быстро идет на убыль: они все чаще спариваются с домашними собаками. Зоологи выяснили, что около 80% всех динго, населяющих восточное побережье Австралии, представляют собой помесь. Если не принять программу изоляции чистокровных динго, они могут совсем исчезнуть в ближайшие полвека.

Science. 2003. V.302. №5645. P.556 (США).

## Этология

### Хитрые самки пятнистой гиены

Самки пятнистой гиены (*Crocuta crocuta*) имеют необычное строение наружных половых органов. Их клитор удлиннен и образует трубку, так что по внешнему виду и способности возбуждаться он почти не отличается от пениса самцов. С тех пор как было обнаружено такое странное свойство, ученые не пришли к единому мнению по поводу похожести самок на самцов. Чаще всего они объясняли это побочным следствием повышенной агрессивности самок: самки у гиен значительно агрессивнее самцов и безраздельно доминируют над ними.

Американские зоологи М.Мюллер и Р.Рэнхем из Гарвардского университета, проанализировав собственные материалы и данные коллег, пришли к выводу, что такая мускулинизация гениталий самок — отнюдь не следствие, а средство достижения половой мимикрии<sup>1</sup>.

Прежде всего, недавно выяснилось, что мускулинизация гениталий самок вызвана не повышен-

<sup>1</sup> Muller M., Wrangham R. // The Quarterly Review of Biology. 2002. V.77. №1. P.3—16.

ным уровнем мужского гормона тестостерона (в связи с агрессивностью), а контролируется совсем другими гормонами. Поэтому первая трактовка отпала сама собой. В чем же тогда дело?

Из-за экстремально высокой агрессивности между самками молодые самки не имеют никакой возможности закрепиться в чужом клане. Им предстоит остаться в той группе, где они родились. Самцы же могут относительно свободно перемещаться. Однако исконные матроны тоже не очень-то расположены к молодым самкам — ведь, повзрослев, они могут вытеснить их с захваченных позиций. Поэтому в период до трехмесячного возраста, когда щенки женского пола достигают веса родителей, они подвергаются сильной агрессии со стороны как взрослых самок, так и своих сестер, нередко приводящей к смерти. Молодые же самцы подвергаются атакам значительно реже.

Исследователи заметили, что наибольшее развитие мимикрии «под самцов» достигает как раз в «детский» период. Копируя самцов, самки увеличивают свои шансы на выживание.

© Опаев А.С.  
Москва

## Этология

### Что такое «копулексус»?

Б.Стефенсон и П.Веррелл из Вашингтонского государственного университета (США) провели доскональные лабораторные наблюдения за брачным поведением лягушки-аскафуса (*Ascaphus truei*). Казалось бы, вполне рутинная работа; подобных проводится довольно много с целью выявить характер поведения тех или иных животных. Но в данном случае речь идет об особенном виде<sup>2</sup>.

У аскафуса есть другое название — хвостатая лягушка. Между тем она, как и все лягушечье племени, относится к отряду бесхвостых земноводных. Парадокс, од-

нако, в том, что на самом деле хвостатая лягушка все-таки... бесхвостая! Просто на хвост внешне похож копулятивный орган самцов аскафуса. Это тем более поразительно, если вспомнить, что у бесхвостых земноводных оплодотворение внешнее (как у большинства рыб), и никаких копулятивных органов не должно быть и в помине. Впрочем, этим удивительные особенности хвостатой лягушки не исчерпываются. В противоположность остальным представителям отряда, славящимся своей певучестью (настоящим лягушкам, жабам, квакшам и пр.), она отличается молчаливостью: ни кваканья, ни иных форм брачного пения у водоемов, населенных аскафусом, не услышишь. К этому надо добавить, что хвостатая лягушка — примитивный представитель древнего семейства гладконогих, а следовательно, ее изучение представляет особый интерес для понимания эволюции земноводных. Вот почему результаты наблюдений Стефенсона и Веррелла довольно любопытны.

Исследователи провели десятки ссаживаний самцов и самок хвостатой лягушки и подробно описали их брачное поведение. Действительно, у этого вида ухаживание и спаривание происходят совершенно беззвучно. По-видимому, самцы отыскивают самок, используя неплохо развитое зрение, а также химические стимулы. Собственно ухаживание сведено к минимуму: обнаруживший партнершу самец без промедления крепко обхватывает ее передними лапами. Этот элемент поведения у лягушек называется «амплексус». Термин мало знаком неспециалистам, но он отражает очень характерное явление. У всех бесхвостых земноводных самец, чтобы обеспечить наиболее полное оплодотворение откладываемых самкой яиц, плотно прижимается к ней, удерживаясь на ее скользком теле с помощью стиснутых в замок лап. Известны анекдотические случаи, когда ослепленные любовной страстью самцы лягушек или жаб намертво

схватывали случайно подвернувшуюся рыбу или даже щепку, да так и плавали, удерживая неожиданный объект в сильных рефлексорных объятиях. Вот что такое амплексус.

Но объятия аскафусов — это не традиционный для остальных бесхвостых земноводных амплексус, поскольку связаны они не с выведением половых продуктов во внешнюю среду, а с самой настоящей копуляцией, при которой сперма попадает в организм самки, которая уже потом откладывает оплодотворенные яйца. И вот специально для обозначения характерного спаривания хвостатых лягушек недавно было предложено новое название — «копулексус». Благодаря проведенным вашингтонскими исследователями наблюдениям выяснилось еще одно необычное обстоятельство: оказалось, что самец аскафуса может заключать самку в объятия-копулексус не только со спины, но и со стороны живота, что уникально для земноводных.

Анализ брачного поведения хвостатых лягушек с эволюционных позиций показал, что оно представляет собой сложный комплекс, во-первых, древних черт, унаследованных всеми земноводными от общих предков, во-вторых, тоже древних черт, но сохранившихся только у аскафусов, и, в-третьих, — совершенно уникальных, которые хвостатые лягушки приобрели в ходе собственной эволюции.

© Семенов Д.В.,  
кандидат биологических наук  
Москва

## Геохимия

### Нитраты под пустынями

Среди трудностей, которые приходится преодолевать растению в пустыне, обычно называют не только недостаток влаги, но и почти полное отсутствие в почве азота — важнейшего из питательных веществ. Такое мнение давно стало хрестоматийным. Однако вследствие случайного открытия, сделанного аспиранткой

Института горного дела штата Нью-Мексико М.Уолвурд (M.Walvoord) и гидрологом П.Хартсуоф (P.Hartsough; Университет штата Невада в Рино), это представление оказалось сомнительным.

На территории ракетного полигона в Неваде бурили почву с целью изучить содержащиеся там хлориды. Анализ проб из колонки грунта показал, что на глубине нескольких метров концентрация хлоридов достигает максимума, свидетельствуя об иссушении климата, наступившем около 16 тыс. лет назад. Этот результат не вызвал удивления, но поразительным оказался факт, что в том же слое внезапно резко возросла и концентрация азота. Обычно своего пика содержание азота достигает лишь в самом верхнем, метровом слое почвы.

Совпадение в расположении максимумов концентрации обоих веществ наводит на мысль, что нитраты, как и хлориды, просачиваясь в глубь почвы, оставались не востребованными ни растениями, ни микроорганизмами. Чтобы проверить столь «еретическое» предположение, исследователи изучили почвы в четырех других пустынях на Юго-Западе и Западе США (Мохаве в Калифорнии, Сонора в Аризоне, Большой Бассейн в Неваде и Орегоне, Чиуауа в Нью-Мексико). В двух колонках тесная связь между ростом концентрации хлоридов и нитратов подтвердилась, а в остальных столь отчетливой зависимости нет, однако увеличенное количество нитратов на глубине тоже весьма заметно — 2 тыс. и даже 10 тыс. кг/га (для сравнения: американский фермер обычно вносит в почву от 25 до 250 кг/га нитратов в год).

Известно, что пустынная зона занимает около трети засушливой земной поверхности. Поэтому общие подповерхностные запасы азотистых веществ никак нельзя игнорировать. По оценке авторов работы, количество нитратов в почвах всей Земли на 16% больше, чем полагали до сих пор.

Гидролог-эколог Р.Джексон (R.Jackson; Дьюкский университет в Дареме), считая работу весьма

важной, предостерегает от глобализации и даже регионализации таких выводов. Почему растительность пустынь «отвергает» питательные ценности нитратов — ведь ее корневые системы способны поглощать эти соединения с глубины 4 м? Не исключено, предполагает Джексон, что вторжение в пустыни Юго-Запада США древесной растительности за последнее столетие объясняется тем, что деревья имеют более длинные корни и достигают глубоких скоплений азотистых веществ. По-видимому, привычные положения о возникновении и развитии пустынных зон, а также о механизмах глобального азотного цикла потребуются пересмотреть.

Science. 2003. V.302. №5647. P.969, 1021 (США).

## Геология

### Проблемы геологического возраста

Уже почти 200 лет геологи и палеонтологи бьются над проблемой датирования важнейших эпизодов в истории нашей планеты.

В 1998 г. американский геохронолог С.Боуринг (S.Bowring; Массачусетский технологический институт) и его коллеги детально изучили цирконы ( $ZrSiO_4$ ), взятые на территории Китая. Этот минерал содержит примеси гафния, тория, урана, кальция, натрия и др. и часто служит для определения абсолютного возраста пород на основе природного распада урана и тория и превращения их в свинец. Анализ полученных результатов позволил утверждать, что массовое вымирание видов на границе пермского и триасового периодов произошло в данном регионе  $251.7 \pm 0.3$  млн лет назад. Но затем другая группа специалистов во главе с Р.Мандилом (R.Mundil; Центр геохронологии в Беркли), изучив аналогичные цирконы из КНР тем же методом, пришла к выводу, что эта катастрофа произошла более 252.5 млн лет назад. Казалось бы, не столь большая разница, но для палеонтологов она весьма существенна.

Многие из них полагают, что вымирание видов было следствием колоссального (миллионы кубических километров) излияния лавы, которое 251 млн лет назад привело на этой территории к образованию гигантских траппов — Сибирской платформы. Возникшее между геологами и палеонтологами разногласие остается пока неразрешенным.

Другой пример относится к Доломитовым Альпам — горам на севере Италии. Геохронологи решили определить, сколько времени потребовалось, чтобы карбонаты, содержащиеся в скелетах микроорганизмов ископаемого моря, образовали нынешний 600-метровый слой (эти известняковые отложения именуется латемарскими по названию горы Латемар). Приняв, что каждый слой латемарских известняков соответствует одному климатическому циклу, который, в свою очередь, зависит от изменений земной около-солнечной орбиты, седиментологи пришли к заключению, что на это ушло около 8 млн лет. Но геохронологи, опираясь на известную скорость превращения урана в свинец, отвели на этот процесс лишь около 2 млн лет. И вот уже годы, как противоречие не может разрешиться...

На симпозиуме «Калибрация геологической шкалы времени», организованном Национальным научным фондом США и Массачусетским технологическим институтом (Вашингтон, октябрь 2003 г.) Б.Уордлоу (B.Wardlaw; Геологическое управление в Рестоне) призвал расширить сеть геохронологических лабораторий, укрепить и координировать сотрудничество между геологами и палеонтологами, чтобы ликвидировать разногласия, существующие в геохронологии при измерении возраста пород методами уран-свинцовой и аргон-аргоновой радиометрии. В настоящее время результаты датирования одного и того же образца разными методами различаются не менее чем на 1%. Поставлена задача уменьшить к 2015 г. расхождение примерно в 10 раз, что равнозначно, напри-

мер, уточнению показаний часов до 3—4 с в час.

Science. 2003. V.302. №5644. P.375 (США).

## Вулканология

### Питон-де-ла-Фурнез пробудился

В ночь на 30 сентября 2003 г. внезапно началось конвульсивное содрогание земной коры в районе вулкана Питон-де-ла-Фурнез<sup>1</sup>, который находится на о.Реюньон (Французское владение в западной части Индийского океана). Эпицентр множества сравнительно слабых толчков находился около старого кратера Доломье, примерно на 2 км ниже вершины горы, высота которой 2631 м. Всего через несколько минут после начала активности на юго-западном склоне, на высоте 2350 м над ур.м. образовалась крупная прямолинейная трещина. Утром 1 октября число подземных толчков достигло максимума, после чего постепенно пошло на убыль.

Полной неожиданностью эти события назвать нельзя, так как с марта 2003 г. установленная здесь сеть приборов, регистрирующих растяжение земной коры, а также измерения с помощью системы GPS (Global Positioning System) указывали на усилившийся процесс подъема и «вспучивания» уровня земной поверхности. Некоторая активность внутри кратера Доломье наблюдалась в конце мая 2003 г.; с перерывами она возобновлялась в июле и августе, за чем и последовал сентябрьский пароксизм.

Питон-де-ла-Фурнез — один из наиболее активных вулканов мира. Его возраст, по геологическим данным, превышает 530 тыс. лет, активность же неким образом координируется с соседним вулканом Питон-де-Нэж. Существующие на первом из них три кальдеры образовались примерно 250 тыс., 65 тыс. и менее 5 тыс. лет назад в ходе медленного сдвига вулканической деятельности в западном направлении.

<sup>1</sup> См. также: Вулкан Фурнез напоминает о себе // Природа. 2001. №2. С.27.

На дне этих кальдер и на склонах самой горы в свое время возникли многочисленные пирокластические конусы.

До сих пор извержения чаще всего наблюдались на вершине горы, а иногда на склонах Доломье, этого 400-метрового лавового щита, выросшего внутри самой молодой из кальдер. Ее диаметр 8 км; с восточной стороны кольцевой гребень прорван и углублен ниже уровня моря.

Начиная с XVII в. на вулкане Питон-де-ла-Фурнез отмечено более 150 извержений, нередко сопровождавшихся потоками базальтовой лавы. Шесть извержений (1708, 1774, 1776, 1800, 1977 и 1986) происходили из трещин на внешней стороне кальдеры.

Верхние склоны горы безлюдны, поэтому во время последних событий никто не пострадал, но некоторая опасность для лежащих внизу долин, используемых в сельском хозяйстве острова, существует. Французские специалисты продолжают наблюдать за опасным поведением вулкана.

Bulletin of the Global Volcanism Network. 2003. V.28. №9. P.19 (США).

## Климатология

### Современный климат Северной и Центральной Азии

Подтверждением истинного изменения климата в нашу эпоху могут служить только данные непосредственных наблюдений на метеорологических станциях мира. Их показания в последние 20—30 лет хорошо совпадают с предварительными расчетами на конец XX в.: глобальная температура на земном шаре к 1980 г. повысилась на 0.5—0.7°C по сравнению с концом XIX в. (доиндустриальный период), а к 2000 г., вполне возможно, на 1°C.

М.К.Гаврилова (Институт мерзлотоведения СО РАН) проанализировала показания метеостанций Якутии, Прибайкалья, Забайкалья и Монголии с конца позапрошлого века до наших дней. По температуре воздуха, в частно-

сти, было выявлено, что на всей северной половине Азии 20-е столетие было теплее 19-го. За последние 100 лет годовые температуры повсеместно повысились на 2–3.5°; зимние температуры в Восточной Сибири поднялись на 10° в Якутии и на 7° в Прибайкалье, а в Монголии — на 5°С.

Неуклонное потепление особенно проявилось во второй половине XX в., с 70–80-х годов. За последние 50 лет температуры января повысились в Якутии на 7°, в Прибайкалье — на 4°, в Монголии — на 3°, т.е. потепление шло в 1.5–2 раза интенсивнее, чем в первой половине столетия.

Наиболее резкое повышение температур характерно для районов с континентальным климатом, наименьшее — с морским. Так, в западной арктической Якутии, Забайкалье и Восточной Монголии потепление проявляется мягче. Степень климатических изменений зависит также от широтной зональности (при некоторой локальности): тенденция потепления в Центральной и Восточной Якутии проявляется в 1.5 раза сильнее, чем в Южной Сибири и в 3 раза сильнее, чем в Монголии.

Вызывает беспокойство повышение годовых температур в Южном Прибайкалье, Западной, Северной и Центральной Монголии: с 70-х годов среднегодовые температуры перевалили здесь через «нуль», т.е. стали положительными. Следовательно, мерзлые породы перешли в неустойчивое состояние, а это может сказаться, в частности, на прочности инженерных сооружений.

Возрастание высоты снежного покрова на территории Якутии в южном направлении может указывать на смещение к югу зимних циклонических процессов, т.е. на ослабление действия знаменитого Сибирского антициклона.

Всемирная конференция по изменению климата. Тезисы докладов. М., 2003. С.397 (Россия).

## Палеоантропология

### Из одного гнезда

Человек, обитавший на африканских просторах около 1.8 млн лет назад, уже ходил на двух ногах. Тело его по размерам не уступало нашему, он имел относительно большой головной мозг, узкие бедра и бочкообразную грудную клетку, пользовался каменными орудиями, употреблял мясо животных. Ареал его обитания простирался до Евразии.

Какой именно это был вид — среди антропологов нет согласия. Одни считают, что все африканские и азиатские находки относятся к одному виду — *Homo erectus* (человек прямоходящий), потомки которого, судя по ископаемым останкам, позже появились на территории Китая и Индонезии. А другие полагают, что африканские люди принадлежали к виду *H. ergaster* (человек работоспособный).

Американский палеоантрополог Т.Уайт (Т.White) совместно с коллегами изучал обнаруженную в Эфиопии новую находку — останки ископаемого человека, жившего примерно 1 млн лет назад. Она подтверждает, по их мнению, гипотезу о принадлежности всех древних африканских и азиатских людей к виду *H. erectus*, так как многие главные черты строения найденного эфиопского черепа свойственны как ранним африканцам, так и несколько более молодым азиатам. А предположение, что вид *H. erectus* некогда разделился на два, исследователи считают заблуждением, и два вида одновременно не встречались. Однако американские антропологи Б.Вуд (B.Wood; Университет им.Дж.Вашингтона) и Дж.Шварц (J.Schwartz; Питтсбургский университет) почти уверены, что 1–2 млн лет назад разнообразие видов древних людей было большим.

Мнение о человеке прямоходящем как единственном нашем

предке — возврат к гипотезе, господствовавшей до середины 1980-х годов. Позднее многие специалисты, включая Вуда, стали считать, что найденные в Африке в 1970-х годах останки ископаемых людей, живших 1.8 млн лет назад на берегах оз.Туркан (Кения), серьезно отличаются от «классического» человека прямоходящего, давно известного с о.Ява (Индонезия). Яванский человек жил на 200–750 тыс. лет позже древнейших африканских людей. Тогда полагали, что древние люди из Азии были более массивными и принадлежали к иному виду. Из этого следовало, что *H. ergaster* и есть предок современного человека, а *H. erectus* представляет собой вымершую азиатскую ветвь<sup>1</sup>.

Но в 1997 г. аспирант Уайта Г.Гилберт (H.Gilbert) нашел в Эфиопии, в отложениях формации боури (геологический возраст около 1 млн лет), верхнюю часть черепа человека. Ее строение сочетает и африканские, и азиатские черты, включая сильно выступающие надбровные дуги, как у азиатских *H. erectus*. Авторы сопоставили эту находку с другими из Африки, Европы и Азии по 22 признакам и построили кладограмму, которая показывает, что новая находка занимает промежуточное положение между древними африканскими формами и несколько более молодыми азиатскими. Поэтому эфиопский антрополог Б.Асфав (B.Asfaу; Управление по изучению рифтовой долины в Аддис-Абебе), принимавший участие в исследованиях, решительно отвергает попытки «развести» порознь азиатские и африканские формы. Но другие палеоантропологи считают, что проблема еще далека от окончательного решения.

Science. 2003. V.295. №5563. P.2192 (США).

<sup>1</sup> Существует и противоположное мнение. См., напр.: *Виноградов Г.М.* Наше фамильное древо снова ветвится // *Природа*. 2002. №3. С.73–75.

# Жить ради чести

М.Ю.Зубрева  
Журнал «Природа»  
Москва

Человек, скромно названный в заголовке книги полярным биологом, хорошо известен в нашей стране. Петр Петрович Ширшов (1905—1953) — участник самых знаменитых полярных экспедиций 30-х годов на судах «Сибиряков», «Челюскин», «Красин». Дрейфовал на станции «Северный полюс-1» в составе легендарной папанинской четверки, Герой Советского Союза, действительный член Академии наук СССР. Во время войны — нарком, а потом министр Морского флота СССР, основатель и первый директор Института океанологии АН СССР.

Однако кроме этой парадной была и другая сторона жизни полярного исследователя. В небольшой книжке, написанной его дочерью Мариной Петровной, приоткрывается завеса над трагическими деталями последних лет жизни самого ученого и его жены, Евгении Александровны Гаркуши-Ширшовой (1915—1948), актрисы театра и кино: она снялась в нескольких фильмах, работала в провинции и в Москве.

Петр Петрович, или, как дома его называли, ПэПэ, родом из рабочего предместья Екатеринослава (Днепропетровска), образование получил в реальном

училище, особый интерес проявлял к зоологии и ботанике. Вместе с братом Дмитрием, купив на вырученные от продажи собранных своими руками лекарственных трав лодку, пустился в первую экспедицию по Днепру. Вот его запись, свидетельствующая о незаурядной жизненной силе: «В пятнадцать лет я твердо определил свою <...> дорогу. Даже завидно сейчас читать, с какою страстью мечтал тогда о научной работе, сколько пыла было в стремлении скорее добиться права работать в лаборатории. А ведь я был очень болезненным мальчиком, и постоянные боли в груди плюс голод мало содействовали сохранению жизнерадостности. И все-таки, после очередного упадка настроения, брал себя в руки и писал в такие минуты: “Эх! Плюну на все, буду жить, пока живется, работать, пока есть силы, может быть что-нибудь сделаю, чем заплачу за право жить!”»

В 1921 г. Ширшов поступает на биофак Днепропетровского института народного образования и впоследствии становится гидробиологом, работая в этом качестве в Днепропетровске, затем в Одессе и снова в Днепропетровске. В 1929 г. со своей первой семьей (личная жизнь ученого была непростой) поселяется при Ботаническом ин-



М.П.Ширшова. ЗАБЫТЫЙ ДНЕВНИК ПОЛЯРНОГО БИОЛОГА.

М.: АВАНТИ, 2003. 184 с.

© Зубрева М.Ю., 2004



П.П.Ширшов. 1934 г.



Е.А.Ширшова. 1944 г.

ституте в Ленинграде, где защищает кандидатскую диссертацию и работает до 1935 г.

В ранние годы ПэПэ специализировался на пресноводном фитопланктоне. Объекты исследований — водоросли Буга и Днепра, Туломы и Невы. Летом 1930 г. опять вместе с братом Дмитрием он путешествует по Кольскому п-ову, обследуя здешние реки. В том же сезоне Ширшов впервые попадает на Север — сначала в Архангельск, а затем для составления гидробиологической карты на Новую Землю. Дело в том, что будущего академика исключили из комсомола за «морально-бытовое разложение и пьянство» (как он впоследствии отмечал в своих записках, «выбирать собутыльников никогда не умел»). Добрые люди посоветовали ему спрятаться в какой-нибудь глуши, пока все забудется. Карту литоральной и сублиторальной растительности архипелага Ширшову удалось составить, и впоследствии его рекомендо-

вали гидробиологом в экспедицию, которая отправлялась на шхуне «Ломоносов» снова на Новую Землю и на Землю Франца-Иосифа. После этого ПэПэ буквально заболел Севером, и последовали уже упомянутые экспедиции, на которых мы не будем подробно останавливаться — об этом много написано.

Война застала Ширшова в Москве, он тогда был заместителем начальника Главсевморпути. Одержимый желанием уйти на фронт он пишет 13 октября 1941 г. своему коллеге-океанологу в Красноярск: «Пытаюсь смыться в армию, но пока ничего не выходит из этого. Я ведь сплю и вижу предмет моих вожделений — танки, танки и еще раз танки! Во флот я ни за что не пойду — там нечего делать, — а вот комиссаром танковой дивизии, это вещь, о которой я только и думаю».

В своих записях он вспоминает еще об одном весьма важном для него событии: «В эти тяжкие дни, когда враг был у са-

мой Москвы и над Арбатом дрались истребители, а по Садовому кольцу уныло брели голодные стада эвакуированного скота <...> в эти дни я полюбил Женю <...>, за то, что осталась она со мною, чтобы вместе уйти на фронт <...>, полюбил за то, что за изящной внешностью я встретил настоящего друга, смелого, жизнерадостного и любящего».

Киевская киноактриса Е.А.Гаркуша ехала через Москву на Север во фронтовые бригады, — они случайно встретились на Кремлевской набережной. Кстати сказать, это событие запечатлено на одном из смешных и трогательных рисунков Ширшова — нарком в облике пумы, актриса — зайца. Их в книге целая серия — «из жизни зверей».

На Горьковскую железную дорогу, куда Ширшов был назначен уполномоченным Государственного комитета обороны по делам эвакуации, они поехали уже вместе. Ему удалось почти

невероятное — ликвидировать пробку из эшелонов с эвакуированными заводами к 1942 г. И в начале того же года Ширшову предлагают ехать в Сан-Франциско в составе закупочной комиссии по ленд-лизу. Он отказывается. Просится на фронт. И неожиданно получает назначение... в Наркомат морского флота. Здесь работы невпроворот: регуляция потоков грузов своих и поступающих по ленд-лизу, восстановление разрушенных портов, строительство новых причалов, собственно танкерного флота, полностью потерянного за войну.

В одном из писем он замечает: «<...> что за каторга быть наркомом. Работать с утра до следующего утра, никогда не принадлежать себе, ни минуты, вечно быть в постоянном напряжении и всегда чувствовать, что что-то недоглядел, что-то упустил».

И все же в ту тяжелую военную пору они были счастливы. В декабре 1944 г. родилась дочь, названная по желанию отца Мариной, что в переводе с латинского означает «морская». Летом 1946 г. нарком МГБ Абакумов «по-дружески» заехал к Ширшовым на дачу на Рублевском шоссе, чтобы подвезти Евгению Александровну в театр. Но это была дорога совсем в другое учреждение.

Центральная часть книги, которую можно действительно назвать дневником, — это записи, сделанные Петром Петровичем от момента исчезновения его жены 29 июля 1946 г. до 29 декабря того же года, когда во внутренней тюрьме МГБ на Лубянке был выписан официальный ордер на арест. Все это время министр Морского флота СССР ничего не знал о ее судьбе. В своих записках он обращается к двухлетней дочери: «Маринка моя! <...> Я знаю, что нет у меня другого выхода, что должен я жить ради тебя, ради твоей мамы, ради своей чести <...>. Я держусь

изо всех сил, я буду держаться, чего бы мне это ни стоило. Но пусть никогда в жизни тебе не придется узнать, какой муки может стоить удержаться от самого простого, самого желанного выхода, такого быстрого и ясного <...>. Пусть никогда не узнаешь ты, как трудно оторвать руку от пистолета, ставшего горячим в кармане шинели <...>. Помоги мне, моя маленькая, удержаться на ногах. Дай мне говорить с тобой, как с большой».

Он не застрелился, смог пережить поток бессовестной лжи, вылившейся на его семью, работал. Его жену, несговорчивую актрису, держали и мучили в тюрьме, а народного героя оставили на свободе, хотя в присутствии большого количества людей он назвал Берию гестаповцем.

Послевоенные годы, несмотря ни на что, были для него чрезвычайно плодотворными. Был создан Институт океанологии, давно им задуманный и выросший из небольшой лаборатории, он остался его директором, когда был снят с министерской должности в 1947 г. Начал бороздить океаны знаменитый «Витязь» — бывший немецкий банановоз «Марс» отобрал и припрятал для переделки в научное судно института заместитель Ширшова, в бытность его наркомом, — А.А.Афанасьев. Детективная история о том, «как академик у министра корабль украл», вошла в анналы океанологии — академический «Витязь» был переоборудован на деньги Морфлота. По итогам первых научно-исследовательских рейсов судна девяти сотрудникам института была присуждена государственная премия, себя Ширшов из списка вычеркнул. Под его руководством создается транспортно-географическая характеристика морей, директор Института океанологии, он еще и председатель Бюро по транспорту при Совмине.

Петр Петрович был человеком многосторонним: умел общаться с детьми, любил животных, строил самые «настоящие» парусники, делал все сам, начиная от чертежей и кончая пушками, выточенными из бронзы (одна из таких моделей ныне в Музее Мирового океана, в Калининграде, на его любимом «Витязе»). Потом тяжелая продолжительная болезнь и смерть 17 февраля 1953 г. — он прожил всего 48 лет.

Марина Петровна связала себя с Институтом океанологии им. П.П.Ширшова, музеем которого ныне заведует. Свою мать не помнила, довольно долго ей говорили, что она на гастролях. «Крутой маршрут» молодой, красивой и талантливой жены ответственного работника сталинской эпохи не единичен. А фраза хозяина — «мы найдем ему другую жену», по слухам, относилась не только к П.П.Ширшову. Однако от приведенных в книге документов из архива Лубянки берет оторопь. Жену министра не расстреляли, а «всего лишь» отправили на поселение — работать на фабрике Берия (!) Тенькинского горнопромышленного управления Дальстроя. Это за Омчаком, что в 800 км от Магадана. В 1948 г. она покончила с собой и похоронена на «привилегированной» части кладбища для ссыльных с фамилиями (на другой стороне сопки — зеки под номерами). Только в перестроечное время дочери удалось побывать на могиле матери и бросить горсть земли с отцовской могилы. В этой небольшой и очень скромно изданной книжке они вместе вполне зримо — на замечательных фотографиях 40-х годов и рисунках «полярного биолога». Символично, что на обложке «Забытого дневника» книжный эксlibрис П.П.Ширшова на фоне самодельной карты колымских лагерей. ■

## Астрономия

**Е.Б.Гусев, В.Г.Сурдин.** РАСШИРЯЯ ГРАНИЦЫ ВСЕЛЕННОЙ: История астрономии в задачах. (Учебно-методическое пособие). М.: МЦНМО, 2003. 176 с.

Курс по истории астрономии входит в программу вузов и средней школы. Для лучшего усвоения знаний полезно закреплять теорию практически упражнениями и решением задач, однако авторам неизвестны задачки по истории астрономии. Таким образом, книга представляет собой первую попытку в этом направлении.

В учебном пособии представлено 426 задач по истории астрономии, которые, если следовать принятой терминологии, в большинстве своем являются качественными. Они имеют ряд преимуществ по сравнению с количественными задачами, поскольку обычно не требуют математических выкладок и позволяют сосредоточиться на сути изучаемого явления. В сборнике нет целенаправленного разделения задач: для учащихся вузов и для школьников.

Большинство задач посвящено двум фундаментальным эпохам в развитии астрономии — становлению гелиоцентрической системы и формированию астрофизической картины мира. Им предшествует краткое историческое введение. Последний раздел сборника основан на цитатах из трудов и высказываний ученых разных эпох; в определенной степени они дополняют предшествующий материал. Многие задачи носят астрофизический характер, поэтому могут быть

также использованы на занятиях по физике.

## Биология

**В.Г.Черданцев.** МОРФОГЕНЕЗ И ЭВОЛЮЦИЯ. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2003. 360 с.

Коллективное движение эмбриональных клеток связано с направленным изменением их собственной формы и формы областей зародыша, в составе которых они движутся. Книга рассказывает о причинах и следствиях этого факта. Речь идет об особом рода объектах — развертках морфогенетического движения, действующих в раннем морфогенезе многоклеточных животных (от кишечнополостных до хордовых), когда форма и расположение клеток эмбриональной ткани заключают в себе правила их движения и будущую форму.

Соединяя развертки между собой и с другими морфогенетическими процессами, не образующими разверток, автор, экспериментальный эмбриолог, получает основные типы строения многоклеточных животных.

На этом заканчивается первая часть книги, которую можно читать независимо от двух остальных. Во второй части сделана попытка показать, что в эволюции морфогенез основан на явлениях самоорганизации, возникающих при коллективном движении клеток.

В третьей, заключительной части книги, рассматривается отсутствие связи между эволюцией механизмов морфогенеза и прямыми или коррелятивными эффектами их отбора по приспособленности.

От других исследований в этой области, одной из центральных в современной биологии, книгу отличает геометрический (независимый от пространственно-временных координат развития) подход.

## Зоология

**С.Д.Степаньянц, В.Г.Кузнецова, Б.А.Анохин.** ГИДРА: От Абраама Трамбле до наших дней. М.; СПб.: Т-во науч. изд. КМК, 2003. 102 с. (Из сер. «Разнообразие животных».)

В Зоологическом институте РАН (Санкт-Петербург) начали создавать новую научно-популярную серию «Разнообразие животных». Каждый из небольших выпусков будет посвящен какому-то известному представителю животного мира либо целым биоценозам — группам животных, обитающих вместе в одинаковых условиях. Материалы, изложенные в этой серии, написаны профессионалами и потому содержат не просто серьезную научную информацию, но и касаются современного состояния изученности каждого описываемого объекта.

Первый выпуск посвящен гидре. Описаны строение, физиология, биология, экология и родственные связи гидр. Дан ключ для определения гидр России и Центральной Европы. Особое внимание уделено вопросам их биохимии и генетики.

Создатели серии надеются, что тема каждого выпуска будет интересна широкому кругу читателей и послужит дополнительным материалом для школьных и университетских программ.

# Первый российский электронографист

## К 100-летию со дня рождения З.Г.Пинскера

В.Л.Вергасов, В.В.Клечковская  
 Институт кристаллографии им.А.В.Шубникова РАН  
 Москва

Когда речь заходит об использовании электронных пучков в исследовании структуры кристаллов, одним из первых должно быть упомянуто имя профессора Зиновия Григорьевича Пинскера (1904—1986).

Выпускник Коммерческого училища, уроженец Харькова, Зиновий Пинскер в начале 1920-х годов поступил на химический факультет Московского высшего технического училища им.Н.Э.Баумана. В 1932 г. Пинскер перешел из Института строительных материалов, где он занимался коллоидными растворами, во Всесоюзный институт минерального сырья и начал изучать дифракцию электронов.

Уже в 1935 г. Зиновий Григорьевич по результатам экспериментов и наблюдений рассчитал явление точечной дифракции, а в 1936 г. создал макет первого электронографа с большим разрешением. Тогда же, по предложению академика В.И.Вернадского, он перешел в биогеохимическую лабораторию АН СССР, где защитил кандидатскую диссертацию.

В то время интерес многих исследователей был сфокусирован на развитии электронной

микроскопии, в частности, на повышении разрешения изображений изучаемых объектов и методах их интерпретации, главным образом, в целях исследования микронарушений кристаллических структур.

Именно Пинскер обратил внимание на необходимость использования непосредственных картин дифракции для разработки метода полного и независимого определения структуры кристалла, т.е. создания электронографического структурного анализа. Наличие у электрона заряда и малая длина его волны (~0.04 Å) при энергии в 100 кэВ делает электронный пучок крайне чувствительным к характеристикам потенциала рассеивающего объекта. Такое сильное взаимодействие электронов с веществом может оказаться полезным в решении задач, затруднительных для рентгеновского и нейтронного излучения, например, при исследовании мелкодисперсных веществ или локализации легких атомов в присутствии тяжелых.

В 1938—1939 гг. Пинскер совместно с Л.И.Татариновой получил снимки слоистых кристаллов CdI с косым расположением образца по отношению к пучку электронов, названные впоследствии косыми текстурами. Анализируя подобные



Профессор З.Г.Пинскер.



У электронографа ЭГ-1. Слева направо: Б.К.Вайнштейн, З.Г.Пинскер, Л.И.Татарина, Г.И.Дистлер, И.И.Ямзин.

дифракционные картины ряда сходных слоистых структур ( $\text{CdBr}_2$ ,  $\text{PbI}_2$ ), Зиновий Григорьевич показал возможность детально исследовать явление полиптипии в слоистых кристаллах — уточнить взаимное расположение слоев и тем самым определить атомную структуру кристаллов. Эти работы, относящиеся к первым экспериментальным наблюдениям полиптипии, вместе с теоретическими расчетами вклада в энергию решеток разного типа химической связи составили его докторскую диссертацию (защита состоялась в Казани в 1943 г.).

В 1944 г. по предложению А.В.Шубникова Пинскер переходит во вновь организованный Институт кристаллографии АН СССР и впоследствии создает новую лабораторию электронографии. Совместно с И.И.Ямзиным он выполняет на электронографе прецизионные измерения интенсивностей рефлексов

электронограмм, которые подтверждают возможность использования кинематической теории дифракции (первого борновского приближения теории рассеяния) для структурного анализа тонких образцов.

На этом же приборе первыми учениками Пинскера (Б.К.Вайнштейном и Г.И.Дистлером) были выполнены работы по изучению строения полимеров и по определению сложных структур кристаллогидратов ряда металлов.

Исследования, сделанные Пинскером на протяжении 1936—1949 гг., вошли в качестве основного материала в монографию «Дифракция электронов» (1949). Это одна из настольных книг для кристаллографов и ученых, работающих в близких областях. Благодаря широкому распространению английского издания (Лондон, 1953) укрепляется международный авторитет российской науки в области структурных исследований.

В последующие годы благодаря Пинскеру электронографический структурный анализ достиг высокой степени развития. Под руководством Зиновия Григорьевича был осуществлен целый комплекс электронографических исследований атомной структуры тонких пленок карбидов, нитридов, оксидов разнообразных металлов. Среди этих соединений впервые были обнаружены кристаллические фазы с неполной заселенностью ряда позиций и частичным разупорядочением не только подрешетки легких атомов, но и подрешетки металлов. Несмотря на всю необычность таких результатов для классической кристаллографии, Зиновий Григорьевич не отринул их как артефакты, а, наоборот, направил усилия учеников на развитие методик расчета частично разупорядоченных фаз, вплоть до уточнения их химического состава. Работы, выполненные в этом направлении, впервые

позволили с помощью структурного анализа представить на атомном уровне механизм окисления металлов IV—VIII групп, обогатили новыми представлениями некоторые области кристаллографии, кристаллохимии и материаловедения.

По инициативе Пинскера с 1950 г. в лаборатории электронографии С.А.Семилетовым были начаты работы по изучению кристаллической структуры различных полупроводников, а также развернуты исследования роста и структуры эпитаксиальных слоев полупроводниковых соединений, сыгравшие важную роль в развитии микроэлектроники. Исторически электронографический метод был первым с успехом использовавшимся для получения качественной информации о степени совершенства структуры подложек и пленок при разработке эпитаксиальной технологии. Кроме того, этим методом были определены кристаллические структуры многочисленных двух- и трехкомпонентных полупроводниковых соединений, в результате чего внесена ясность в сложный

вопрос об их структуре, химическом составе и условиях образования.

Под руководством Пинскера в Горьковском университете совместно с С.В.Кавериним проводились электронографические исследования процессов азотирования и структуры нитридов технически важных металлов.

Зиновий Григорьевич был инициатором оригинальных методик электронографических исследований при движении образца и фотопленки друг относительно друга, которые потом разрабатывались Г.А.Эфендиевым и Р.Б.Шафизаде в Институте физики АН Азербайджана.

Начиная с 1960-х годов Пинскер уделяет большое внимание динамической теории дифракции коротковолнового излучения — как электронного, так и рентгеновского.

На основе обобщения огромного числа опубликованных работ и собственных результатов, связанных с теорией рассеяния рентгеновских лучей в прозрачных и поглощающих кристаллах, Пинскер написал

в 1974 г. фундаментальную монографию «Динамическое рассеяние рентгеновских лучей в идеальных кристаллах». Такая активная деятельность Зиновия Григорьевича в области динамической дифракции рентгеновских лучей сыграла большую роль для исследований, связанных с рентгеновской оптикой, разработкой новых структурно-чувствительных методов диагностики приповерхностных слоев и наноструктур, проводимых в Институте кристаллографии.

Что же касается динамической дифракции электронов, то Пинскер стимулировал развитие двух подходов. В 70-х годах под его руководством В.В.Удаловой, Р.М.Имамовым и А.С.Авиловым разрабатываются методики введения поправок на динамическое рассеяние при проведении структурных исследований в рамках кинематической теории.

В 1980-х Зиновий Григорьевич принимал участие в работах В.Л.Вергасова и Ф.Н.Чуховского, занимавшихся проблемой многоволновой динамической дифракции и разработкой мето-



В гостях у Пинскера дважды лауреат Нобелевской премии Л.Полинг с супругой.

дик ее целенаправленного использования для исследования кристаллических структур и их дефектов.

Научные труды Пинскера заслуженно принесли ему мировое признание и почетные звания, среди которых высшая награда Академии наук СССР в области кристаллографии — премия имени Е.С.Федорова, звание заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, орден «Знак Почета».

Зиновий Григорьевич был членом редколлегии журналов «Кристаллография» и «Acta Crystallographica», редактором реферативного журнала «Физика», членом комиссии по дифракции

электронов Международного союза кристаллографов.

С 1946 по 1957 г. он заведовал кафедрой, а затем был профессором Горьковского университета, в течение нескольких лет преподавал в МГУ и в Институте стали и сплавов. В созданной им лаборатории электронографии проходили стажировку ученые из многих стран мира.

Среди его воспитанников свыше 15 докторов и 40 кандидатов наук, многие из них стали заведующими лабораториями (Г.И.Дистлер, Б.К.Вайнштейн, И.И.Ямзин, Б.Б.Звягин, А.И.Лобачев, С.А.Семилетов). В настоящее время четверо — М.В.Ковальчук, В.В.Клечковская,

Р.М.Имамов, А.С.Авилов — возглавляют научные подразделения в Институте кристаллографии, в которых разрабатываются новые методы использования коротковолнового излучения (электронного и рентгеновского) для исследования материи. После академика А.В.Шубникова директорами Института кристаллографии становились ученики профессора Пинскера — академик Б.К.Вайнштейн и член-корреспондент М.В.Ковальчук. Творческая атмосфера, созданная Зиновием Григорьевичем в лаборатории, позволила основать в России электронографическую научную школу мирового уровня. ■

# 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  
**М.Я.ФИЛЬШТЕЙН**

Художественный редактор  
**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией  
**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор  
**Г.С.ДОРОХОВА**

Перевод:  
**П.А.ХОМЯКОВ**

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, Мароковский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (095) 238-26-33  
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 14.04.2004  
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 8280  
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»  
Академиздатцентра «Наука» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6