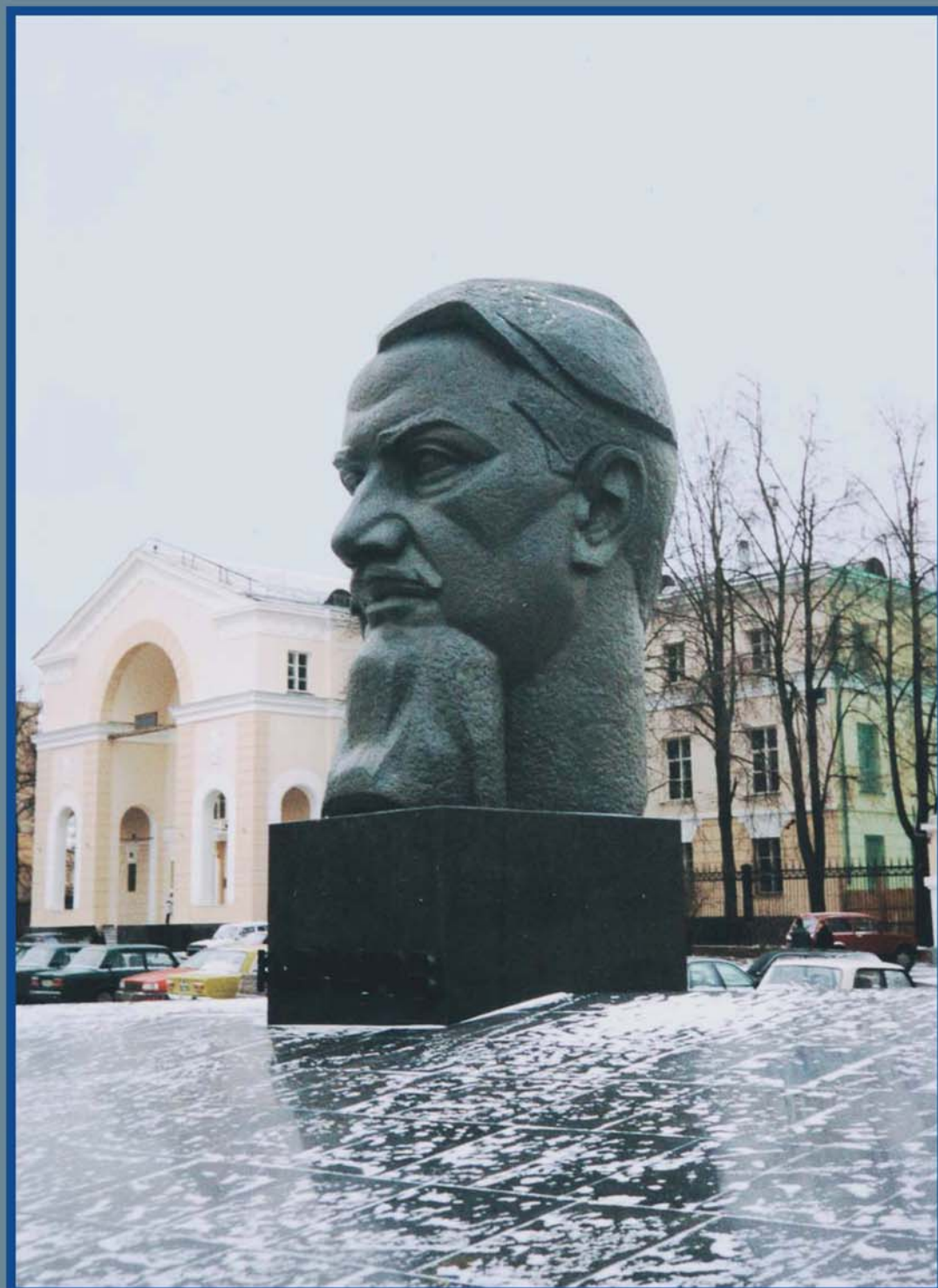


# ПРИРОДА

1 03



**В НОМЕРЕ:****3 Струнников В.А., Струнникова Л.В.****Гетерозис можно закрепить в потомстве!**

*Сохранить ценные свойства гибрида в поколениях еще не удавалось никому. Теперь это сделано на тутовом шелкопряде, и если удастся закрепить гетерозис в потомстве растений, можно будет получать баснословные урожаи.*

**8 ЧЕЛОВЕК, ПОДАРИВШИЙ СТРАНЕ БЕЗОПАСНОСТЬ**

К 100-летию Игоря Васильевича Курчатова

**Новиков И.И.****Во главе атомного проекта (9)****Черноплеков Н.А.****Предназначение (15)****Садовский М.А.****«Научные восторги» (23)****27 Заварзин Г.А.****Эволюция геосферно-биосферной системы**

*Для того чтобы понять истоки биоразнообразия, нужно рассмотреть не только деятельность биоты, но и той системы, в которой она развивается.*

**36 Щеголев В.А.****За краем таблицы Менделеева**

*Исследования по синтезу новых химических элементов служат показателем научно-технического развития страны. Синтез 114-го и 116-го элементов, осуществленный недавно в ОИЯИ (Дубна), подтверждает, что отечественная наука не утратила своих позиций в этой области.*

**46 Иванцов А.Ю.****Еще раз о загадке шестигранной ряби****48 Никонов А.А.****Курильская катастрофа полвека назад**

*Сильнейшие цунами обычно связаны с сильнейшими землетрясениями. Одно из них разразилось напротив Камчатки, но трагедия стала курильской.*

**55 Малик Л.К.****ГЭС на малых реках России: достоинства и недостатки**

*Гидротехническое строительство на малых реках требует особых подходов из-за чрезвычайной уязвимости самих водотоков и окружающих их ландшафтов.*

**63 Сурдин В.Г.****Сверхскопление Шепли – крупнейший архипелаг галактик****66 ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2002 ГОДА****Герштейн С.С., Шакура Н.И.****По физике – Р.Дэвис, М.Кошиба Р.Джиаккони****Есипов С.Е., Арсеньев А.С.****По химии – Дж.Б.Фенн, К.Танака, К.Вютрих****Скулачев В.П.****По физиологии и медицине – С.Бреннер, Х.Р.Хорвиц, Дж.Салстон****Новости науки****78**

Черные дыры в шаровых скоплениях. Д.З.Вибе (78). Двойной астероид вблизи земной орбиты (78). Великобритания вступает в ЕСО (79). Циркуляция в тропической атмосфере усиливается (79). Углеродные нанотрубки с борными нанобугорками (80). Когда графит предпочтительней алмаза (81). Лазер «на квантовой шестеренке» (81). Что делать с радиоактивными отходами? (82). Женщины в европейской науке (82). Последствия падения юкатанского астероида (82). Горячие точки оказались подвижными (83). Фигура Земли изменится (84). «Jason» следит за Мировым океаном из космоса (85). Как перемешиваются морские воды (85). Ньирагонго – примечательный вулкан Африки (86). Трансарктические плавания станут реальностью (86). Следы ледниковых наводнений (87). Нестабильность климата в эпоху оледенения (88). Как возродить афганские древности? (88).

**Резонанс****46 Иванцов А.Ю.****Еще раз о загадке шестигранной ряби****Рецензии****89 Келле В.Ж.****В эпицентре «Большой игры»****Новые книги****92****В конце номера****94 Ваньшина О.П., Пузик М.А.****Сокровища Дарвиновского музея**

## CONTENTS:

### 3 **Strunnikov V.A. and Strunnikova L.V.** **Heterosis Can Be Fixed in the Progeny!**

*All previous attempts at preserving the valuable properties of a hybrid in its succeeding generations failed. Now at last this task has been accomplished in bombyx. If scientists succeed in fixing heterosis in the progeny of plants, immense crops can be gathered.*

### 8 **THE MAN WHO GAVE SECURITY TO THE COUNTRY**

On the 100th Anniversary of the Birth of Igor Vasilievich Kurchatov

**Novikov I.I.**

**Head of the Nuclear Project (9)**

**Chernoplekov N.A.**

**Predestination (15)**

**Sadovsky M.A.**

**«Scientific Raptures» (23)**

### 27 **Zavarzin G.A.**

**Evolution of the  
Geosphere–Biosphere System**

*To understand the sources of biodiversity, one should examine not only the activity of the biota but also that of the system in which it evolves.*

### 36 **Shchegolev V.A.**

**Beyond the Edge of the Periodic Table**

*Research in synthesis of new chemical elements is an indicator of a country's scientific and technological development. The synthesis of the 114th and 116th elements that has recently been achieved at JINR (Dubna) confirms that Russian science has not lost any ground in this field.*

## Response

### 46 **Ivantsov A.Yu.**

**Hexagonal Ripple Revisited**

### 48 **Nikonov A.A.**

**The Kurile Disaster Half a Century Ago**

*Very strong tsunamis are usually linked to very strong earthquakes. Although the event occurred off Kamchatka, it was in fact a Kurile tragedy.*

### 55 **Malik L.K.**

**Hydropower Plants and Russia's Small Rivers: Advantages And Disadvantages**

*Hydropower projects on small rivers require special approaches in view of the extreme vulnerability of the river channels and surrounding landscapes.*

### 63 **Surdin V.G.**

**The Shapley Supercluster –  
the Largest Archipelago of Galaxies**

### 66 2002 NOBEL PRIZE WINNERS

**Gershtein S.S. and Shakura N.I.**

**For Physics: R.Davies, M.Koshiba,  
and R.Giacconi**

**Esipov S.E., Arsen'ev A.S.**

**For Chemistry: J.B.Fenn, K.Tanaka,  
and K.Wütrich**

**Skulachev V.P.**

**For Physiology and Medicine:  
S.Brenner, H.R.Horvitz, and J.Salston**

## Science News

### 78

Black Holes in Spherical Star Clusters. **D.Z. Wiebe (78)**. A Double Asteroid near the Earth's Orbit (**78**). Great Britain Joins ESO (**79**). Tropical Atmospheric Circulation Intensifies (**79**). Carbon Nanotubes with Boron Nanotubercles (**80**). When Graphite Is Preferable to Diamond (**81**). Laser with «Quantum Gear» (**81**). What Can Be Done with Radioactive Waste? (**82**). Women in European Science (**82**). The Effects of the Yucatan Asteroid Fall (**82**). Hotspots Are Mobile (**83**). The Earth's Figure Is Changing (**84**). Jason Is Monitoring the Oceans from Outer Space (**85**). How Marine Waters Intermix (**85**). Nyiragongo: A Noteworthy Volcano in Africa (**86**). Transarctic Voyages Will Be a Reality (**86**). Traces of Glacial Floods (**87**). Climate Instability during the Glacial Epoch (**88**). How to Restore the Ancient Artefacts of Afghanistan? (**88**).

## Book Reviews

### 89 **Kelle V.Zh.**

**At the Epicenter of the «Great Game»**

## New Books

### 92

## End of Issue

### 94 **Vanshina O.P. and Puzik M.A.**

**Treasures of the Darwin Museum**

# Гетерозис можно закрепить в потомстве!

В.А.Струнников, Л.В.Струнникова

Гетерозис — свойство гибридов превосходить по определенным признакам лучшую из родительских форм — был открыт 230 лет назад, но только в XX в. его впервые начали использовать на практике, при разведении шелковичных червей. И после этого стали массово получать гибриды сельскохозяйственных растений. Однако столь ценное качество проявляется лишь в первом поколении гибридов, а в последующих постепенно затухает. Его невозможно сохранить в потомстве, поэтому приходится все время возобновлять за счет технически трудно выполнимой гибридизации. Природа гетерозиса не была раскрыта до конца, и известный генетик Ф.Хатт писал, что этот феномен представляет собой одну из самых больших загадок генетики. Сходные взгляды высказывались и многими другими видными биологами. Несомненно, глубокое познание причин, по которым гетерозис возникает, и разработка методов управления им способствовали бы еще более эффективному использованию его в сельском хозяйстве.

Все 230 лет, протекавшие со времени открытия гетерозиса, закрепление его в потомстве было заветной, но не достижимой мечтой человека: этого не



**Владимир Александрович Струнников**, академик РАН, профессор, заведующий группой цитологии развития и регуляции пола Института биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН, руководитель генетических исследований на тутовом шелкопряде в ряде шелководческих институтов СНГ. Лауреат Государственной премии СССР (1981), Герой Социалистического Труда (1990). Награжден золотой медалью им.И.И.Мечникова АН СССР (1981). Неоднократно публиковался в «Природе».



**Лариса Владимировна Струнникова**, старший научный сотрудник того же института.

Научные интересы авторов связаны с изучением генетики тутового шелкопряда: регуляцией его развития, искусственными методами размножения, регуляцией пола, выявлением причин гетерозиса, разработкой способа его усиления и закрепления.

удавалось сделать не только в экспериментах, никто не нашел даже обнадеживающих теоретических подходов.

Совершенно очевидно, что мощь гетерозиса и его затухание в последовательных поколениях должны обеспечиваться какими-то существенными изменениями генотипа гибридов по сравне-

нию с генотипами исходных, родительских, форм. Поэтому изучение генетических преобразований и стало первоначальной целью наших исследований.

В настоящее время наиболее признанными считаются три гипотезы возникновения гетерозиса. В соответствии с первой из них, это свойство обеспечи-



вается погашением у гибридов действия рецессивных летальных и полуметальных генов одного родителя их нормальными аллелями, привнесенными другим родителем. По второй — гипотезе доминирования, — гетерозис объясняется благоприятным сочетанием неаллельных доминантных генов, которые наследуются от обоих родителей. Гипотеза «сверхдоминирования» постулирует высокую зависимость гетерозиса от гетерозиготности всех, не только неблагоприятных, но и благоприятных генов.

Две первые гипотезы не вызывают сомнений, они подтверждены экспериментально. А вот в правильности третьей у генетиков того времени, когда она была впервые высказана, не было уверенности, и сейчас ее разделяют далеко не все ученые. Роль «сверхдоминирования» в становлении гетерозиса приобрела особое значение в связи с поисками метода, благодаря которому можно было бы закрепить гетерозис. Если

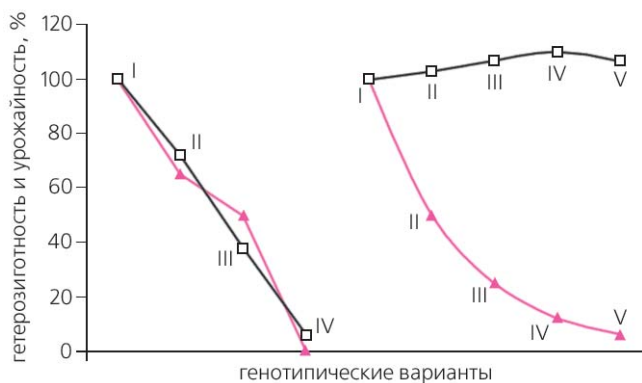
гетерозиготность всех генов действительно реальная причина гетерозиса, то мечта о его закреплении была бы совершенно безнадежной (если не считать вегетативного размножения и клонирования), так как при обычном размножении сохранить высокую гетерозиготность гибрида в его дальнейших поколениях невозможно. Она с каждым новым поколением прогрессивно уменьшается вдвое.

Чтобы выяснить роль гетерозиготности нормальных генов в проявлении гетерозиса, мы провели множество специальных исследований [1, 2]. Здесь мы представим их суть в очень сжатом виде, поскольку о них уже говорилось в «Природе» [3].

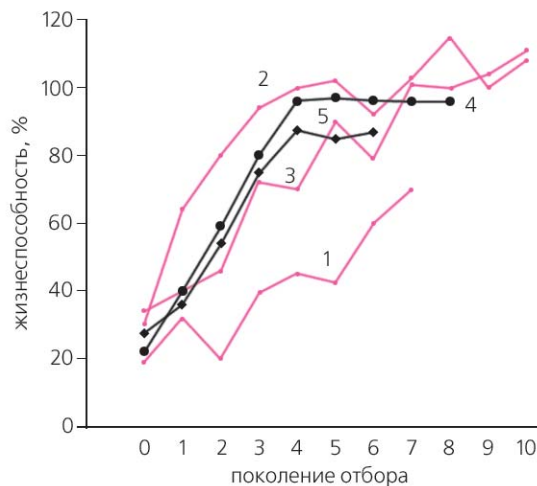
От гетерозиготной гибридной самки тутового шелкопряда, проявившей мощный гетерозис, сначала вывели партеногенетический женский клон. От одной его части, не добавляя посторонний генотип, получили четыре генотипических варианта с разным уровнем гетерозиготности — от 100% (как у исходно-

го гибрида) до нуля. В этих вариантах проявилась практически полная прямая зависимость урожайности коконов от гетерозиготности: чем выше она была, тем жизнеспособнее были гусеницы шелкопряда и тем крупнее завивали они коконы.

Вторую часть гибридного клона вначале мы почти полностью очистили от вредных генов (леталей и полуметалей), а затем получили пять вариантов с разной гетерозиготностью нормальных генов, тоже от 100% до нуля. Несмотря на это, по мере снижения гетерозиготности урожайность коконов не уменьшилась, как в первой серии опытов, а оказалась даже выше, чем у исходного, контрольного, гибрида. Несомненно, это произошло благодаря тому, что из генотипа всех вариантов были удалены летальные и полуметальные гены. Следовательно, возникновение гетерозиса определяется гетерозиготностью не всех без исключения генов, а только вредных. Затухание же его в последующих поколениях проис-



Гетерозиготность (цветные кривые) и урожайность коконов в двух группах генетических вариантов тутового шелкопряда. Обе группы выведены от гибридного партеноклона-29, его показатели приняты за 100% (I). Видно, что в первой группе одновременно с уменьшением гетерозиготности снижается и урожайность. Во второй группе, из генотипа которой были удалены вредные гены, несмотря на падение гетерозиготности, урожайность сохраняется столь же высокой, как у исходного партеноклона.



Изменение жизнеспособности в последовательных поколениях насекомых и растений, в генотип которых введены полуметалели. 1 — тутовый шелкопряд; 2, 3 — дрозиды (две разные мутации); 4 — горох; 5 — ячмень. Видно, что жизнеспособность, сниженная этими генами до уровня 20–30%, в ходе селекции на выживаемость растет с каждым поколением, пока не приблизится к норме.

ходит из-за перехода этих генов в гомозиготное состояние. Следовательно, гипотеза «сверхдоминирования» не верна.

Роль благоприятных генов в становлении гетерозиса не вызвала сомнений, но удельное ее значение в этом процессе методически было трудно определить. Нам удалось это сделать в довольно сложных исследованиях [1]. Половину исходной генетической линии (насекомых или растений) размножали как контрольную, без каких-либо манипуляций с генотипом. В другую же часть линии — опытную — ввели гомозиготную полупеталь, снижающую жизнеспособность ее членов на 70—80%, и затем подвергали селекции: в каждом поколении на племя отбирали семьи с самой высокой жизнеспособностью. Через несколько поколений такого отбора жизнеспособность особей в селектируемых популяциях приблизилась к норме. После этого отселектированную часть линии и контрольную скрестили с одной и той же, но генетически им не родственной, линией. В 21 опыте на насекомых и растениях межлинейные гибридные особи, происходящие от селектированной линии, проявили на 17—27% более мощный гетерозис, чем те, чья родительская линия не содержала полупетали и, следовательно, не подвергалась селекции.

Результаты этих исследований не только выявили исключительно важное значение концентрации благоприятных генов в становлении гетерозиса, но и позволили предложить практике весьма эффективный способ селекции на гетерозис, в равной степени пригодный как для растений, так и животных.

Из описанных исследований возникли логические выводы: повторить гетерозис в дальнейших поколениях гибрида, не прибегая всякий раз к гибридизации, можно, если, во-первых, генотип его будет лишен всех вредных генов в гомозиготном состоянии и, во-вторых,

сохранит скоординированную функцию всех благоприятных генов.

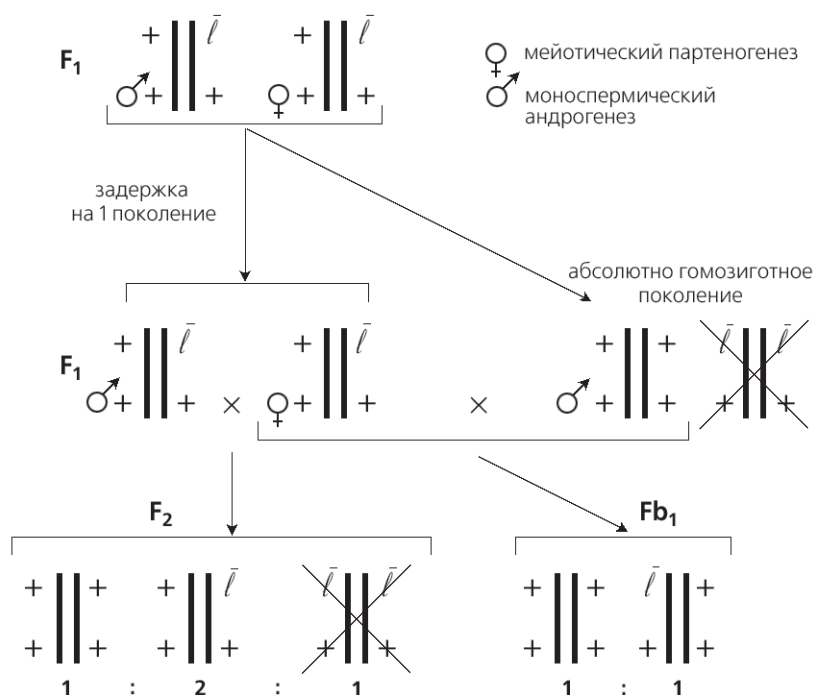
Сколько мы ни размышляли, но не могли найти способов, которые позволили бы сконструировать такой генотип. Вот тут-то неоценимую услугу оказали уже разработанные нами методы искусственного размножения тутового шелкопряда.

Теоретические расчеты показали, что стоящие перед нами труднейшие проблемы могут быть решены с помощью всего лишь одной операции — возвратным скрещиванием гибридной самки ( $F_1$ ) с ее собственным абсолютно гомозиготным сыном. Такое мужское потомство мы получали или за счет искусственного мейотического партеногенеза, или андрогенеза [2]. В первом случае организм развивается только из одной половой материнской клетки, без участия генов самца, во втором — из отцовской, без участия генов самки.

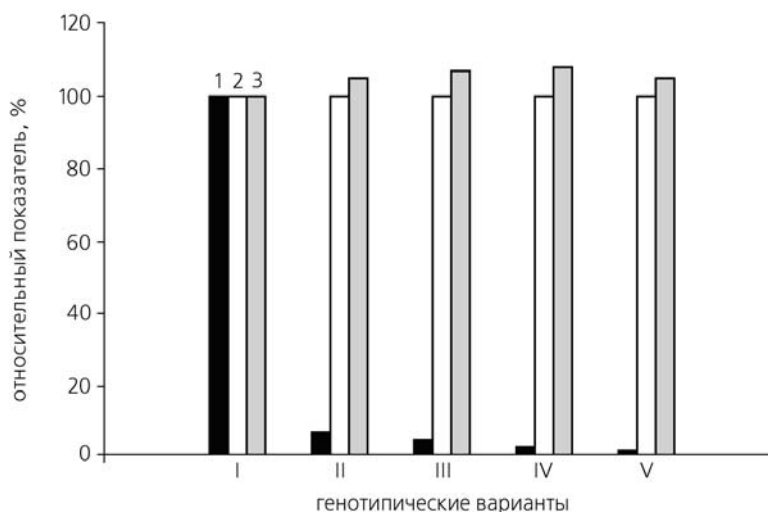
Исключительно важная особенность абсолютно гомозиготных особей — полное отсутствие в их генотипе леталей и подавляющего большинства полупеталей как в гомозиготном, так и в гетерозиготном состоянии. Это объясняется тем, что при партеногенетическом и андрогенетическом развитии ядро одной гаплоидной (с одним набором хромосом) половой клетки вначале делится на два генетически совершенно идентичных ядра, которые, слившись позже, образуют диплоидное ядро. Естественно, все парные гены в нем будут генетически одинаковыми, а клетка разовьется в абсолютно гомозиготную особь. Если в исходное ядро попадет хотя бы один летальный ген, то, став гомозиготным, он, естественно, на ранней или поздней стадии погубит зародыш. Выживут только те эмбрионы мужского пола, у которых нет ни одного вредного гена в гомозиготном состоянии и, в довершение к этому, в генотипе окажется достаточное количество полезных генов. Благодаря их

действию преодолевается угнетение эмбрионального развития, обычно проявляющееся при естественном способе размножения. Так как популяция обычно содержит большое число леталей и полупеталей, то естественно, что до половозрелого состояния доходят лишь очень немногие зародыши (доли процентов), генотип которых не содержит этих вредных генов. Но иногда все эмбрионы погибают.

Простые генетические расчеты однозначно показывают, что уже первое поколение, возникшее в результате возвратного скрещивания абсолютно гомозиготного сына с гибридной матерью ( $F_1$ ), неизбежно сохранит гетерозис [4]. Это легче понять на условном примере скрещивания гибрида, содержащего одну полупеталь. В действительности же их много, но принцип закрепления гетерозиса в потомстве остается одним и тем же, независимо от количества вредных генов [5]. Поскольку материнская линия проявляет гетерозис, то, следовательно, в генотипе погашены нормальными аллелями практически все летали и полупетали, привнесенные двумя исходными породами при их гибридизации. А так как абсолютно гомозиготные сыновья вообще не содержат леталей, то, естественно, они никак не могут появиться в поколениях от возвратного скрещивания в гомозиготном, т.е. действующем, состоянии. Первое такое поколение  $F_{b1}$  по показателям гетерозиса (продуктивности) окажется не только на уровне исходного гибрида  $F_1$ , но даже превзойдет его. Подобные выкладки, без какого-либо исключения, подтвердились во многих десятках экспериментов, в том числе и на коммерческих гибридах тутового шелкопряда — в опытах, выполненных в Ташкенте С.С.Леженко и У.Н.Насириллаевым. Если урожай шелка у исходных пород в их исследованиях принять за 100%, то у испытанного межпородного гибрида первого поко-



Генотипы гибридов: исходного ( $F_1$ ), полученного скрещиванием внутри клона ( $F_2$ ) и при возвратном скрещивании ( $F_{b1}$ ). Перечеркнуты генотипы с гомозиготной полулеталью — организмы с таким генотипом нежизнеспособны. Нормальный ген показан знаком  $+$ , полулеталь —  $\bar{l}$ . Внизу приведено соотношение генотипов в потомстве.



Показатели частот вредных генов (1), массы коконов (2) и жизнеспособности (3) генетических линий тутового шелкопряда. I — исходный, контрольный, гибрид, II — трансформированный гибрид, полученный после четырех возвратных скрещиваний с гомозиготными самцами, III—V — последовательные поколения от близкородственного скрещивания. За 100% приняты показатели контрольного гибрида. Во всех линиях гетерозис выше, чем у исходного гибрида, следовательно, проблема закрепления гетерозиса решена.

ления ( $F_1$ ) будет равен 125%, у второго гибридного поколения ( $F_2$ ) составит 115%, а у  $F_{b1}$  — 125.5%.

Хотя в описанных опытах гетерозис сохранялся в гибридах от возвратного скрещивания ( $F_{b1}$ ), это еще не было полным решением проблемы закрепления гетерозиса, так как в их генотипе оставались скрытые летали и полулетали. При переводе такого поколения на обычное размножение вредные гены переходили у потомков в гомозиготное состояние, и гетерозис, естественно, снижался. Поэтому возникла необходимость провести еще четыре—пять последовательных возвратных скрещиваний. Поскольку в каждом из них число вредных генов уменьшается вдвое по сравнению с предыдущим, этим, во-первых, достигается почти полное удаление леталей и полулеталей из генотипа и, во-вторых, сохраняется та часть генов, которые обеспечивают гетерозис в исходном гибриде. И только очищенный от вредных генов гибрид, полученный в четвертом—пятом возвратном скрещивании, можно массово размножать обычным путем как при неродственных, так и близкородственных скрещиваниях, не теряя при этом гетерозиса.

Экономический эффект от закрепления гетерозиса будет поистине колоссальным. Например, промышленное производство гибридов пшеницы, риса и ячменя — основных зерновых культур — технически невозможно, в то время как в лабораторных условиях их выращивают и получают баснословные урожаи. Но, увы, такие гибриды остаются невостребованными. Предложенный нами метод позволит на мизерном по количеству материале закрепить гетерозис самого продуктивного гибрида, а затем полученную гибридную линию массово размножать нормальным способом, исключив таким образом самую трудоемкую операцию — межпородную гибридизацию.

Но это не предел. Производимые в семеноводческих хозяйствах гибриды различных сельскохозяйственных растений состоят из бесчисленного множества индивидуальных гибридов, каждый из которых является потомком двух родителей. Они бесконечно изменчивы — начиная от самой низкой и кончая самой высокой продуктивностью. Следовательно, ее показатель усреднен. Естественно, селекционер для закрепления и дальнейшего размножения выберет лучшую комбинацию и тем самым разительно повысит эффективность гибридизации.

Существенной критики способа закрепления гетерозиса пока не высказано. Но не исключено, что у ряда специалистов этот метод может вызвать сомнения. Уж слишком он парадоксален. В самом деле, известно, что при близкородственных скрещиваниях возникает «антипод» гетерозиса — инбредная депрессия потомства, которая находится в прямой зависимости от степени родства партнеров скрещивания. А мы именно этот тип размножения предлагаем использовать для сохранения гетерозиса в череде поколений. Но приведенные теоретические расчеты и многочисленные экспериментальные данные, в том числе и на коммерческих породах шелкопряда, однозначно свидетельствуют об эффективности описанного здесь способа закрепления гетерозиса.

Гибрид обычно бывает стабильным по многим признакам. Сильно выраженное расщепление начинается в его дальнейших поколениях. А как себя будут вести гибриды от возвратного скрещивания? В связи с этим достаточно вспомнить,

что в мировой практике непосредственно из гибридов второго поколения выведено много сортов растений с нерасщепляющимися признаками. Наш способ предусматривает отбор лучших особей начиная с первого гибридного поколения и в ходе последовательных возвратных скрещиваний. В полученных от них поколениях в связи с близким родством родителей изменчивость намного меньше, чем у гибридов второго поколения. Серией возвратных скрещиваний расщепляющиеся, ненужные признаки могут быть легко удалены, а полезные, стабильные — закреплены.

И еще об одном, не для всех ясном вопросе. Почему-то у некоторых растениеводов сложилось мнение, что самоопыляемые виды лишены вредных генов и поэтому их погашение не играет роли в гетерозисе. Действительно такие растения содержат меньше леталей, чем перекрестноопыляемые, так как погибают, если эти гены переходят в гомозиготное состояние. Но и в генотипе самоопылителей слабые полудетали несомненно присутствуют в довольно большом количестве. Хорошо известна высокая частота их спонтанного возникновения в половых клетках в гетерозиготном состоянии. Легко рассчитать, что уже в следующем поколении четверть потомства самоопыляемого растения обязательно будет гомозиготна по полудетали. При слабом ее действии и наличии достаточного количества модификаторов эти гены могут долгое время не проявляться совсем или слабо проявляться в самоопыляемой линии. Но в неблагоприятных условиях среды и при плохом генотипе их вредное дейст-

вие возрастает, несколько снижая урожай. И только возвратные скрещивания позволяют практически полностью от них избавиться.

На тутовом шелкопряде нам впервые удалось разработать совершенный метод закрепления гетерозиса. После этого стало ясно, почему были безуспешными попытки найти способ его сохранения в потомстве. В недостатке прилежания и изобретательности ученых нельзя упрекнуть, ведь не были известны точные причины возникновения и затухания гетерозиса. Кроме того, отсутствовали действенные методы его закрепления, такие как искусственный партеногенез и андрогенез, позволяющие получать абсолютно гомозиготных потомков.

Теперь важнейшая задача — испытать предлагаемый нами способ закрепления гетерозиса на растительных объектах. Напомним, мужские половые клетки у растений гаплоидны, и чтобы получить гомозиготную мужскую линию, достаточно добиться слияния двух генетически идентичных ядер спермиев. Из такого дигаметоидного ядра должно развиваться генетически неповрежденное мужское растение.

Как уже отмечалось, практическое использование гетерозиса в мировом масштабе началось в шелководстве и лишь затем оно широко распространилось на растительные объекты. Закрепление гетерозиса впервые безупречно доказано тоже на тутовом шелкопряде. Надо полагать, что и оно осуществится в такой же последовательности, поскольку у растений генетические закономерности возникновения и затухания гетерозиса такие же, как и у животных. ■

## Литература

1. Струнников В.А. Генетические методы селекции и регуляции пола у тутового шелкопряда. М., 1987.
2. Струнников В.А. Природа гетерозиса и новые методы его повышения. М., 1994.
3. Струнников В.А. Природа и проблемы гетерозиса // Природа. 1987. №5. С.64—76.
4. Струнников В.А., Струнникова Л.В. // Докл. РАН. 2000. Т.374. №2. С.283—285.
5. Струнников В.А., Струнникова Л.В. // Изв. РАН. Сер. биол. 2000. №6. С.679—687.



# ЧЕЛОВЕК, ПОДАРИВШИЙ СТРАНЕ БЕЗОПАСНОСТЬ

## К 100-летию Игоря Васильевича Курчатова

Игорь Васильевич Курчатов умел предвидеть будущее науки и безошибочно определять важнейшие направления. Выдающийся физик, стратег, наделенный государственным умом, он всю свою жизнь целиком отдал укреплению могущества страны. Мы обязаны ему созданием ядерной науки, ядерного приборостроения, ядерной промышленности, ядерного и термоядерного оружия.

Имя Курчатова присвоено научному центру и атомной электростанции, 104-му элементу периодической системы, кратеру на Луне, исследовательскому судну, городу в Курской области, улицам и площадям. Академия наук учредила в его честь премию и золотую медаль.

Академик Курчатов первым в стране был трижды удостоен звания Героя Социалистического Труда. Его окружали почести и признание. А каков был в повседневности этот сполна вкусивший прижизненную славу человек по прозвищу Борода?

В одном из уголков огромной территории Курчатовского центра, в глубине сада стоит двухэтажный дом, где последние 14 лет жила чета Курчатовых – Игорь Васильевич с женой Мариной Дмитриевной (в девичестве Синельниковой). Сейчас там мемориальный музей. Здесь можно многое увидеть, узнать и приблизиться к пониманию, как (если уклониться от штампов) материализовалась судьба великого человека.

Игорь Васильевич родился 12 января 1903 г. в Уфимской губ., с.Сим. Отец семейства, Василий Алексеевич, – помощник лесничего, позднее землемер. Мать, Мария Васильевна, до замужества учила детей в церковно-приходской школе. Дед Курчатова по отцовской линии, сын крепостного, – казначей Симского железоделательного завода, дед по матери – приходский священник.

Семья Курчатовых, где росли два сына и дочь, переехала сначала в Симбирск, а затем в Симферополь. В 1920 г., окончив с золотой медалью казенную гимназию, Игорь Васильевич поступает на физико-математический факультет Крымского университета, где сразу же обнаруживаются его исключительные способности. Далее: досрочное получение диплома и отъезд в Петроград, чтобы учиться на корабельном факультете Политехнического института – это заветная мечта. Институт не закончен, Курчатов в поиске призвания. Магнито-метеорологическая обсерватория в Павловске, Гидрометеорологический центр в Феодосии, Политехнический институт в Баку... С этим временем связаны работы по  $\alpha$ -радиоактивности снега, исследование сейш, эксперименты по физике диэлектриков и многое другое. Поворотный этап в его жизни – приход в 1925 г. в Ленинградский физико-технический институт.

Последующая жизнь Курчатова в той или иной мере отражена в предлагаемых нашему читателю очерках. Они принадлежат перу крупных ученых, работавших непосредственно с Игорем Васильевичем или в его окружении.

Иван Иванович Новиков – соратник Курчатова. С 1948 по 1958 г. был прямым образом связан с атомной проблемой. В 1956 г. стал ректором Московского инженерно-физического института.

Николай Алексеевич Черноплеков работал и по сию пору работает в созданном Курчатовым институте (теперь в роли научного руководителя Института сверхпроводимости и физики твердого тела – одного из подразделений Курчатовского центра).

Михаил Александрович Садовский (1904–1994) был специалистом по физике взрыва и первым научным руководителем Семипалатинского полигона. В последние годы возглавлял Институт физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН.

Предлагаемые читателям очерки представляют собой журнальные варианты текстов, публикуемых в книгах, подготовленных в недрах Российского научного центра «Курчатовский институт». Фотографии любезно предоставлены хранительницей Музея Курчатова, кандидатом исторических наук Раисой Васильевной Кузнецовой, а также Л.Н.Курчатовой (вдовой Б.В.Курчатова), за что редакция приносит им глубокую благодарность.

# Во главе атомного проекта

И.И.Новиков,  
доктор технических наук  
Московский инженерно-физический институт

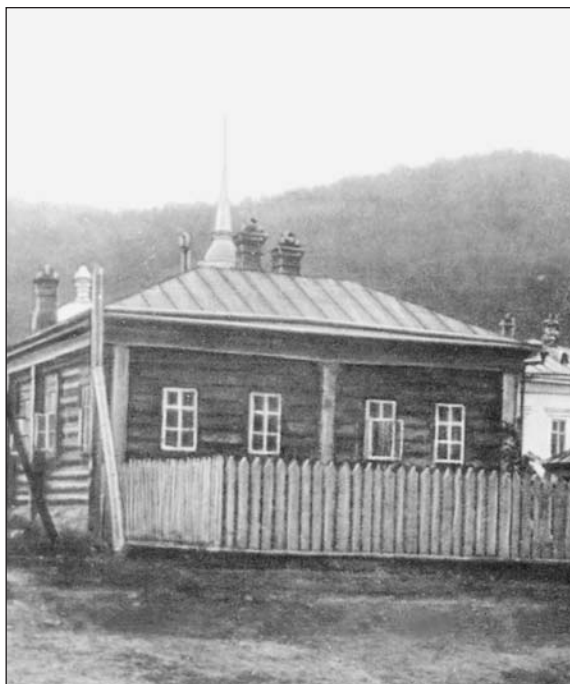
Конец 49-го — начало 50-х... Три года напряженной сверхчеловеческой работы над урановым проектом. Сделано невероятно много: построены и работают промышленные комбинаты и заводы по получению плутония и обогащенного урана — накапливается заряд для будущей атомной бомбы, но до ее появления еще три года. Отечественная ядерная индустрия создавалась на невозделанном поле в стране, разоренной войной, в пламени которой сгорела большая часть интеллектуального потенциала.

Интенсивная работа над урановым проектом началась с большим запозданием. Сталин, никогда не доверявший ученым и испытывавший к ним в силу особенностей своего менталитета постоянную неприязнь, высокомерно не реагировал на их неоднократные предостережения о реальности создания атомной бомбы. Усилия Академии наук, еще в 1940 г. образовавшей специальную урановую комиссию из числа прославленных ученых, поддержки не получили. Все же удалось добиться организации лаборатории по проблеме атомной энергии во главе с И.В.Курчатовым, однако должного внимания со стороны



Игорь Васильевич Курчатов (1903—1960).

© И.И.Новиков  
© Р.В.Кузнецова. Авт.-сост. кн.  
«Курчатов в жизни: письма,  
документы, воспоминания  
(из личного архива)». М., 2002  
© Изд-во «Мосгорархив»



Дом деда Алексея Константиновича в с.Сим Уфимской губ., где родился Игорь Васильевич.



Отец Василий Алексеевич и мать Мария Васильевна. Фото 1938 г.



Братья Игорь и Борис. Симбирск, 1908 г.



После окончания Крымского университета.  
В центре — И.В.Курчатов. 1923 г.

правительства к лаборатории не было. Преступно терялось драгоценное время, тогда как в США и Англии работы по атомной проблеме, инициированные обращением ученых к правительствам, развертывались со все возрастающим размахом.

Отрезвление Сталина наступило в связи с атомной бомбардировкой Хиросимы. Только теперь ему стала ясной угроза, которую несла американская атомная бомба, угроза независимости страны и режиму его личной власти. Теперь Сталин судорожно предпринимает усилия по созданию собственной атомной бомбы. На это дело направляются все имеющиеся резервы. Через две недели после взрыва в Хиросиме создается высший государственный орган, так называемый Специальный комитет, а для практической организации работ по урановому проекту — особое Первое главное управление (ПГУ). Это скромное по названию управление было на самом деле крупнейшим министерством. Руководство и состав формировались из выдающихся организаторов и специалистов промышленности: начальником стал Б.Л.Ванников\*, его заместителем — А.П.Завенягин\*\*. И тот и другой были талантливейшими инженерами, что сыграло в дальнейшем важную роль. Научным руководителем всего проекта назначается Курчатов. Эти три замечательных человека сумели в неимоверно трудных условиях, усугублявшихся постоянными понуканиями и угрозами сверху, за очень короткий срок создать не только атомную, а затем и водородную бомбу, но и построить мощную

ядерную индустрию, обеспечив тем самым стране статус ядерной державы.

Уместно остановиться на тех особенностях, которые характеризуют отечественный урановый проект. Прежде всего должны быть отмечены оригинальность и самостоятельность всех научных, конструкторских и технологических решений. Приходится подчас слышать, что многие атомные секреты были получены разведывательными органами. Смешно отрицать, что в современном мире используются подобного рода методы. Разведка действительно доставила ряд полезных и ценных данных, поскольку в числе источников информации были некоторые антифашистски настроенные осведомленные ученые, особенно физики (благодарную роль сыграл здесь немецкий физик К.Фукс). Известно также, что разведке удалось раздобыть конструкционные чертежи американской атомной бомбы.

На первых порах, когда главная задача заключалась в разработке и сооружении промышленных атомных реакторов и установок по разделению изотопов урана, банк необходимых данных, составленный в результате отечественных работ, оказался в основном достаточным. К тому же принципы устройства ядерных установок и конструкции их были в целом ясны. В этот период разведывательные данные могли оказаться полезными лишь в некоторых частностях. На этапе запуска к эксплуатации промышленных ядерных установок разведывательные данные технологического и эксплуатационного характера могли бы пригодиться больше, но их было мало: разведку ориентировали сверху на получение конструкции атомной бомбы, а не на технологические подробности, такие, например, как распухание урановых блочков в каналах реактора. При эксплуатации отечественных реакторов это явление ока-

залось неожиданным и осложнило работу. Мало было разведывательных данных о технологических схемах промышленного выделения плутония из выгруженных из реактора урановых блоков, в том числе технологических прописей и т.д.

Что касается конструкции атомной бомбы, то к моменту, когда плутония стало достаточно и для ядерного заряда, уже существовала собственная конструкция. Тот факт, что был использован американский вариант, был продиктован волей Сталина, продемонстрировавшего презрение к отечественным ученым.

Вторая особенность советского атомного проекта состояла в том, что во главе его, не только в качестве разработчиков, но и организаторов и руководителей работ, стояли ученые. Это имело важное значение, так как именно ученые, по самой сути своей профессии, лучше других понимают и умеют рационально организовать процесс (практически любой), предвидеть его ход и последствия. Только благодаря этому удалось, притом в крайне сжатые сроки, провести огромную работу. Руководящая роль ученых проявлялась на всех этапах — от лабораторных исследований и составления задания до разработок промышленных аппаратов, их пуска и последующей эксплуатации. Именно это обеспечило успех дела, а вовсе не Берия, поставленный надзирать за учеными, или партийные боссы и чиновники.

В самом начале 50-х годов я был назначен начальником Научно-технического отдела Первого главного управления. Объем работы и разнообразие научных направлений, которые под эгидой уранового проекта охватывали все виды науки, информатики, техники и даже медицины, вначале ошеломили меня, тем более что, придя из Военно-морского флота, я привык к сравнительно ограниченному и строго очерченному кругу

\* Борис Львович Ванников (1897—1962), государственный и партийный деятель, один из организаторов оборонной промышленности СССР, внес вклад в решение атомной проблемы. — *Примеч. ред.*

\*\* Авраамий Павлович Завенягин (1901—1956), государственный и партийный деятель, до включения в атомную проблему занимался металлургической, тяжелой и оборонной промышленностью. — *Примеч. ред.*





У казахского захоронения в районе Семипалатинска. 1955 г., время полигонных испытаний.

служебных интересов и обязанностей.

Я отдавал себе отчет в том, что научно-технический отдел должен стать рычагом более эффективной организации всего комплекса исследовательских и опытно-конструкторских работ, определяемых Игорем Васильевичем Курчатовым как научным руководителем атомного проекта. Мне же как начальнику отдела предстояло стать деятельным помощником Курчатова.

Восхищаясь Курчатовым, я с некоторым трепетом ехал для представления в его Институт. Большой кабинет. Курчатов встает из-за стола. Здравуемся, садимся. Внимательный, изучающий взгляд. «Расскажите о себе», — говорит Курчатов. Я перечисляю: физфак МГУ; призыв во флот; адъюнктура Военно-морского инженерного училища; Военно-морской химический

институт; начальник кафедры Военно-морской академии... Вопрос Курчатова меня не удивляет и не кажется обидным — мне предстоит работать по его заданиям, он должен знать, что я собой представляю. «На кораблях бывали?» — спрашивает далее Курчатов. Отвечаю: «Бывал». Тень воспоминаний проходит по живому, впечатлительному лицу Курчатова, и он неожиданно произносит: «Уважаю моряков, дерзкий, но умный народ. — И сразу же ко мне: А что в науке подельвали?» Рассказываю, что разрабатывал идею Я.Б.Зельдовича о возможности ударных волн разряжения, они, мне кажется, возникают в критической точке; интересовался также особенностями поступательно-вращательного течения жидкости. По моему мнению, на поверхности жидкости образуется под действием центробежных сил особый вид новых волн (впос-

ледствии по этим исследованиям я вместе с другими, в том числе с Я.Б.Зельдовичем и Г.Н.Абрамовичем, был включен в число авторов двух открытий).

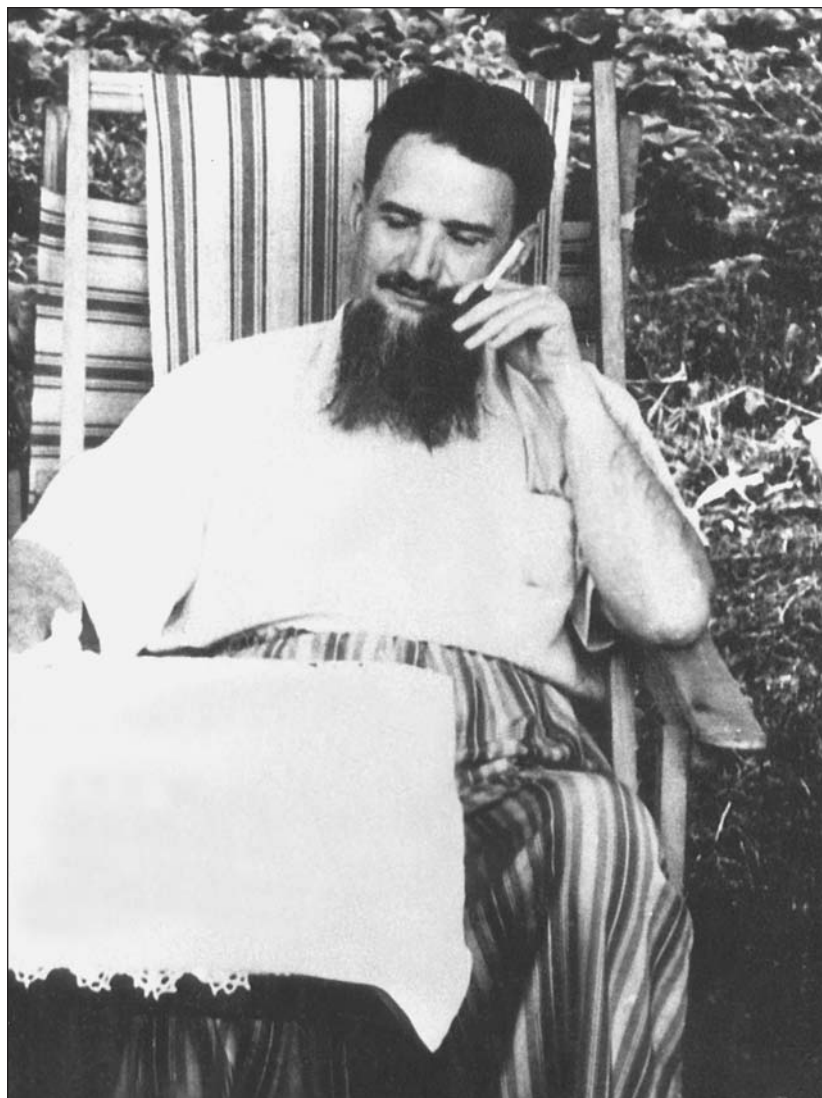
Курчатов слушает с вниманием. После этого я довольно неуклюже прошу совета, с чего мне начать как начальнику научно-технического отдела. Курчатов с искоркой в глазах переспрашивает: «С чего начать? Это вы-то спрашиваете, который теперь всей науки начальник?» Непроизвольно реагирую по Чуковскому: «И бумажек командир!» Шутка принята. «Надо, — продолжает Курчатов, — детально ознакомиться с ведущими исследованиями. На корабле отдельные службы называются, кажется, БЧ? (Я утвердительно киваю.) Вот и начинайте с институтских БЧ. Фиксируйте все, что покажется вам важным, что вызывает вопрос. После, по запи-

санному, поговорим. А теперь начинайте с БЧ Кикоина». Курчатов встает, пожимает руку, а я, окрыленный добрым вниманием, направляюсь в лабораторию института, предварительно взяв в первом отделе сброшюрованную тетрадь для записей.

Уже первое общение с Курчатовым показало его живой интерес к людям. Ему всегда был любопытен человек, в особенности творческий. Он был жаден до людей, как сказал кто-то. Эта жадность не лишена была и прагматичности, таким путем Курчатов тщательно подбирал себе сотрудников. В то время физиков, химиков, других научных сотрудников было не так много, и он по крупницам собирал коллектив института, как магнитом притягивал к себе наиболее способных и творческих. Я несколько не удивился, например, встретив в Курчатовском институте моего старинного друга, талантливейшего конструктора В.И.Меркина, которого Курчатов «вытянул» из Баку, и который сыграл выдающуюся роль в создании промышленных атомных реакторов.

Таким же образом он привлек Г.И.Будкера, который стал основателем нового направления в ускорительной технике (его именем назван институт в Новосибирске). Таких найденных и возвращенных Курчатовым талантов немало.

Курчатов не терпел непорядочности и интриганства. Благодарство его зримо проявлялось в отношении к своему учителю А.Ф.Иоффе. Он прямо светлел, когда общался с Абрамом Федоровичем. А в трудные для Иоффе месяцы, когда на него обрушился Берия, Курчатов делал все, чтобы смягчить удары. В частности, когда Иоффе был по приказу Берии отстранен от руководства созданным им Физико-техническим институтом, он выступил с инициативой образовать в Академии наук Институт физики полупроводников и добился назначения Иоффе его директором. С теми же,



На солнышке. Вторая половина 50-х годов.

кто недостойно вел себя в отношении Иоффе, он навсегда порвал отношения.

Рабочая нагрузка Курчатова была титанической. Как научный руководитель он вникал во все новые идеи, замыслы, результаты, конструкторские решения и даже многочисленные сложности, связанные с эксплуатацией промышленных комбинатов, — все стекалось к нему. От него ждали решения, совета, указания, одобрения. Только благодаря огромному научному потенциалу он мог справляться с этим многообразием проблем.

Сила Курчатова проявлялась не только в том, что он почти никогда не ошибался, но и в том, что, несмотря на свое гениальное видение и потрясающую сверхинтуицию, он подвергал решения всесторонней проверке, обсуждая их в кругу ближайших сотрудников — ученых и инженеров.

На первых порах я недоумевал по поводу таких обсуждений, поскольку на своих практически ежевечерних (тогда работали до 2–3 часов ночи) встречах с Завенягиным (на которые нередко вызывался и я)

Игорь Васильевич четко формулировал, что и как надо сделать. Тем не менее на другой день он созывал узкое или расширенное — в зависимости от сложности вопроса — совещание, на котором излагал задачу и настаивал, чтобы каждый из участников высказался. Как правило, в результате обсуждения приходили к тому решению, которое накануне было определено Курчатовым, а иногда, к его удовольствию, находилось и более совершенное. Я вскоре понял: Курчатов таким образом делал сопричастными к принятому решению всех работающих, что самым положительным образом сказывалось на сроках и качестве работы. По глубококому убеждению Курчатова, все, кто трудился над урановым проектом, должны были ощущать себя творческими участниками, а не простыми исполнителями.

По отношению к себе он не допускал никакого славословия, не любил выражений типа «отец атомной бомбы», «основоположник» и т.п. Но во всем, что составляет ныне отечественную ядерную индустрию, атомную энергетику и ядерную науку, заключена огромная доля курчатовской мысли, его самобытного гения.

В процессе руководства атомным проектом Курчатов быстро стал превосходным организатором. Он перенял и творчески переработал опыт таких выдающихся организаторов, как Завенягин и Ванников, с которыми у него сложились самые лучшие человеческие, творчески-уважительные и деловые отношения. Свообразие курчатовского подхода к организации науки сказалось и в том, как функционировал его институт. Фактически все научные и инженерные решения, касающиеся агрегатов

ядерной техники — реакторов, разделительных установок и пр., — изначально полностью и притом самым скрупулезным образом прорабатывались в институте. Результаты — а это по существу почти готовые проекты — направлялись в конструкторский институт, где доводились до рабочих чертежей. Следует отметить большую роль Н.А.Доллежалы в разработке конструкции атомных реакторов. Рабочий проект далее рассматривался в Курчатовском институте и только после детального обсуждения направлялся на Научно-технический совет ПГУ. Здесь проект проходил тщательную и всестороннюю экспертизу и после одобрения поступал в производство. Научные руководители основных направлений на всех этапах, вплоть до изготовления, монтажа, запуска и эксплуатации промышленного агрегата выполняли свою руководящую роль и несли полную ответственность.

Создавая творческую атмосферу среди участников уранового проекта, Курчатов с большим уважением и тактом относился к руководителям отдельных направлений. Это были выдающиеся ученые со своими особенностями и подчас весьма своеобразными характерами: Ю.Б.Харитон, И.К.Кикоин, Л.А.Арцимович, А.П.Александров, А.И.Алиханов, А.И.Лейпунский, А.П.Виноградов, Н.Н.Семенов, Б.П.Константинов, Д.И.Блохинцев, А.А.Бочвар, Я.Б.Зельдович, В.И.Векслер, А.Л.Минц, А.Д.Сахаров, И.Е.Тамм и многие другие. Чувство взаимного уважения и общность интересов связывали Курчатова и ведущих ученых, которые видели в нем общепризнанного авторитета и лидера. Гигантская каждодневная нагрузка подтачивала его здоровье, почти

регулярными становились гипертонические кризы. Однако Игорь Васильевич не прекращал напряженной работы, и нужны были усилия, чтобы уговорить его на несколько дней поехать в подмосковный санаторий Барвиху. Полного отдыха все равно не получалось — он требовал, чтобы его держали в курсе каждодневно происходящего. Тем не менее время пребывания на природе, которую Курчатов тонко чувствовал, все же придавало ему некоторый дополнительный жизненный импульс.

Он любил музыку, живопись. Как-то на одном из заседаний, в перерыве, подошел ко мне и спросил, был ли я на только что начавшей экспонироваться (но еще в закрытом порядке) Дрезденской галерее. «Сходи обязательно и не медли, там такой Джорджоне — просто магия кисти!»

Курчатов обладал мужественной, красивой внешностью, его глаза лучились светом. Обаяние и доброжелательность привлекали к нему людей. В хорошем настроении он поглаживал свою бороду. Был остроумен, любил юмор. Внимательно вслушивался в дискуссии и поощрял их, особенно по актуальным научным проблемам. Будучи от природы азартным, сдерживал себя от участия в спорах, чтобы, по-видимому, своим авторитетом не сковывать свободу мысли.

Одни гении оставляют после себя непостижимые научные труды, опережающие современность на столетия, другие дарят людям неповторимые произведения искусства и литературы, третьи создают чудесные устройства и машины. Курчатов принес стране безопасность, подарил людям вечный источник света и тепла, без которых не может быть самой жизни. ■



# Предназначение

Член-корреспондент РАН Н.А.Черноплеков  
 Российский научный центр «Курчатовский институт»

*Каждый выбирает для себя  
 женщину, религию, дорогу,  
 дьяволу служить или пророку —  
 каждый выбирает для себя.*

Ю.Левитанский

Первоначально каждая встреча с Игорем Васильевичем Курчатовым и все они в совокупности родили во мне представление о широко образованном, неординарном физике и доброжелательном человеке с необычной внешностью и острым взглядом. Только заметно позже, когда я смог глубже вникнуть в деятельность Курчатова и организованного им института, осознать его значение для постановки и реализации отечественного атомного проекта, я понял, что встречался с одним из великих физиков 20-го столетия. Усилия этого ученого, поддержанные усилиями отечественных и зарубежных коллег, сыграли ключевую роль во вступлении нашей цивилизации в новую, атомную эру, или эру овладения внутриядерной энергией. Это последнее определение, мне представляется, значительно шире и глубже, чем такие, как «эпоха создания атомного и водородного оружия» или «эпоха рождения атомной энергетики».

В начале 1956 г. я как командированный аспирант появился в секторе 4, начальником которого был М.И.Певзнер, в ор-

ганизации, совершавшей переход от одного условного открытого названия Лаборатория измерительных приборов АН СССР (ЛИПАН) к другому — Институт атомной энергии (ИАЭ).

Я встретил в институте большое количество талантливых ученых, инженеров, лаборантов и рабочих, увидел уникальные установки, которые работали в лабораториях или изготавливались в мастерских института. Все это произвело на меня яркое впечатление. Но самой главной примечательностью был регулярный общеинститутский семинар, проходивший под руководством Курчатова. В его работе вместе с молодежью принимала участие, можно сказать, элита московского, а часто и всесоюзного физического сообщества. Семинары велись чрезвычайно демократично: с одинаковым вниманием выслушивались точки зрения и маститых физиков, и совсем молодых специалистов. Буквально на моих глазах происходил процесс расширения тематики семинара и превращения его из специализированного, обсуждающего главным образом вопросы, связанные с основной задачей (на то время) и института, и отрасли, в широкий общезначимый семинар. На нем уже рассматривались общие вопросы ядерной физики: проблема

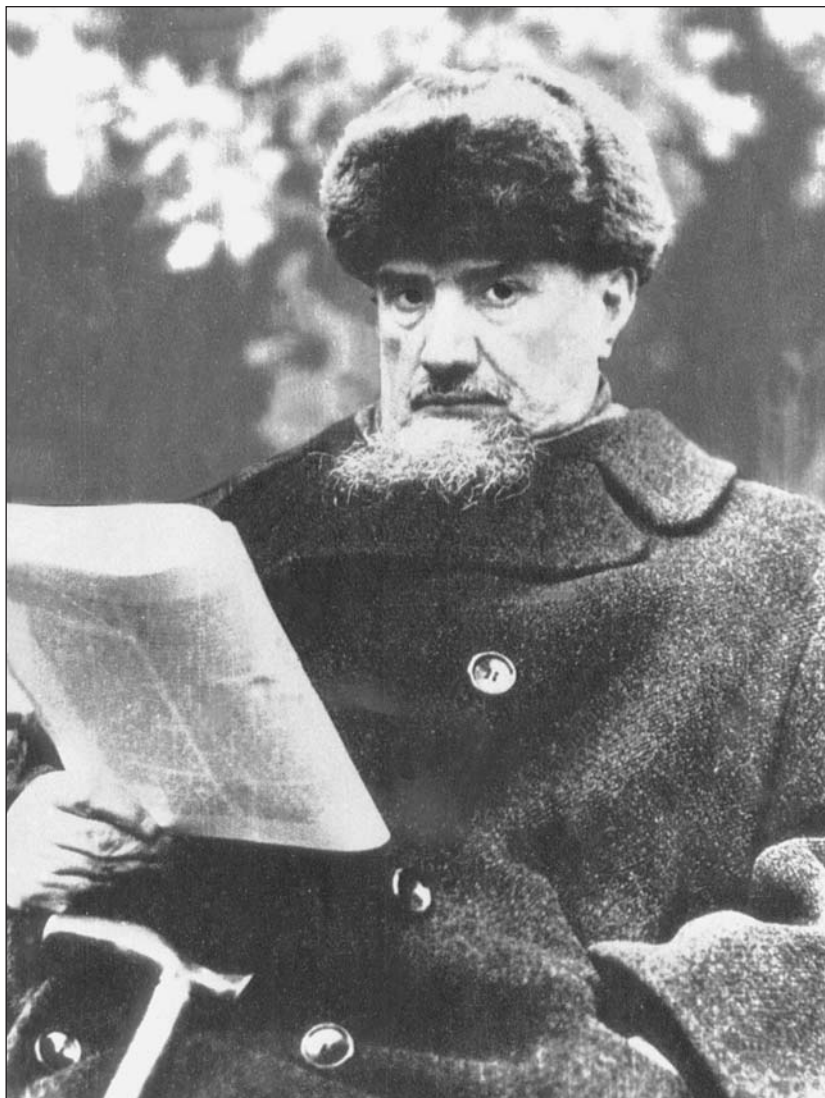
несохранения четности при слабом взаимодействии; задачи нейтронной физики и физики реакторов, не вытекающие непосредственно из нужд промышленного производства делящихся материалов или бомбовой тематики; начальные работы по физике элементарных частиц и новым принципам ускорения и, конечно, вопросы термоядерных исследований.

Поскольку весьма успешные испытания термоядерного оружия в 1953—1955 гг. позволили в институте заметно сократить объем работ, обслуживающих оружейную тематику, Курчатов приступил к исследованию новых физических горизонтов и новых областей практического использования нейтронофизических и реакторных наработок, к более глубокому научному обеспечению таких направлений, как радиационное материаловедение и т.п. Такой переход требовал тщательного анализа, что было характерно для курчатовского стиля. А в этом анализе неизменным элементом были увлекательные и детальные семинары, которые Курчатов проводил с особым талантом.

Он безжалостно требовал и от основных докладчиков, и от выступающих, и от задающих вопросы физической ясности, не допуская снижения научного уровня. При этом ему уда-

© Н.А.Черноплеков  
 © Ю.Н.Смирнов. Сост. сб.  
 «Курчатов в воспоминаниях  
 и документах». М., 2002  
 © Изд-во РНЦ «Курчатовский  
 институт»





У своего дома. Осень 1959 г.

валось вовлекать в дискуссию большинство участников и, бросая образные замечания, подталкивать ее к конструктивному результату. Позже подобный метод получит название мозгового штурма.

В начале 1956 г. на одном из семинаров, на котором в числе гостей был профессор Э.Л.Андроникашвили из Тбилиси, возник вопрос о возможных путях увеличения доли холодных нейтронов в нейтронных пучках тепловых реакторов. Элефтер Луарсабович предложил охладить замедлитель реактора жид-

ким гелием. Начались бурные дебаты с обилием различных предположений, но Курчатова ход обсуждения явно не устраивал: выступающие не оперировали конкретными данными. К счастью, мы с моим коллегой по аспирантуре М.Г.Земляновым уже серьезно интересовались этим вопросом и располагали кое-какими оценками.

Когда Игорь Васильевич обратился к залу с вопросом, может ли кто-нибудь сказать по этой проблеме что-нибудь более содержательное, чем только идея, я поднял руку, и он предоставил

мне слово. Попросив разрешения не спускаться вниз (я сидел достаточно высоко), я рассказал о результатах наших оценок перспективных охлаждаемых замедлителей, к которым собственно жидкий гелий никак нельзя было отнести, о потребных мощностях криогенного оборудования и вопросах безопасной эксплуатации подобных устройств в сильных полях излучений. Практически в моем кратком выступлении был дан достаточно подробный ответ на все возникшие вопросы.

Курчатов слушал внимательно. Когда я закончил, он склонился к сидящим рядом коллегам и о чем-то спросил, но, как выяснилось позже, не получил быстрого ответа. Игорь Васильевич продолжил работу семинара, отметив, что предыдущая тема обсуждена достаточно подробно. А вопрос коллегам, сидящим поблизости, он задавал очень простой: «Что это за физик выступал и откуда он взялся?» Когда вопрос по рядам дошел до Певзнера, Игорь Васильевич получил, наконец, разъяснения. И сразу же просил Певзнера передать поручение «своим орлам» — этому новому должному вместе с хорошо известным Земляновым (бывшим до аспирантуры начальником дозиметрической службы реактора) — в течение недели представить подробный «писдок», т.е. письменный документ об охлаждаемых замедлителях. Нам с Земляновым пришлось остановить текущие дела, но «писдок» мы успели представить вовремя и, судя по всему, на данном этапе удовлетворили начальство.

Неделями двумя позже произошла случайная встреча с Игорем Васильевичем у реактора РФТ (реактор физической тепловой), где мы проводили эксперименты. Он вспомнил мое выступление на семинаре, попросил проводить его до главного здания и подробнее рассказать о целях и сути наших с Земляновым экспериментов. Я

рассказал об отсутствии каких-либо других прямых методов определения фононных спектров кристаллов, кроме неупругого рассеяния нейтронов, и о том, какое разнообразие физических проблем твердого тела связано со спектром тепловых возбуждений. Объяснил, что нам как экспериментаторам для этих исследований необходимы выведенные коллимированные и монохроматизированные пучки предпочтительно холодных нейтронов, поскольку в первых исследовательских реакторах нейтронные потоки были низкими. Игорь Васильевич с живым интересом все это слушал, изредка перебивал уточняющими вопросами и уже перед главным зданием похвалил, что выбрали интересную задачу, пожелал успехов и просил информировать о ходе экспериментов. Оценка Игоря Васильевича вызвала у меня и радость, и некоторое недоумение, поскольку это направление было несколько в стороне от основных интересов института. Казалось, что тогда передо мной был не директор Института атомной энергии, а просто любящий физику ученый.

Затем долго не было случая поговорить с Курчатовым. Мы уже со своим экспериментом перебрались на более удобный для пучковых работ реактор ИРТ (исследовательский реактор тепловой) и думали, что высокое начальство о нас забыло. Оказалось не так.

Снова произошла случайная встреча с Игорем Васильевичем во время его прогулки по территории, и как будто не было большого перерыва в наших разговорах. Он начал расспрашивать об эксперименте на новом реакторе, точно держа в голове основные особенности нашего подхода. Это было удивительно при его фантастической загруженности весьма ответственными делами. Но в нашей судьбе эта встреча, быть может, сыграла и роковую роль, заставив на несколько лет отойти от основной

цели намеченных исследований. С легкой руки кого-то из ближайших сотрудников Курчатова (и в его традициях!) нашу с Земляновым группу окрестили группой Черноземовых. Вскоре после встречи с Игорем Васильевичем группе Черноземовых было поручено по его предложению (и, как всегда, срочно) подготовить варианты надежных методов определения положения делящегося материала в массивных изделиях.

Мы остановились на методе, опирающемся на наши собственные наработки по использованию пучков холодных нейтронов и процедуре определения, которая сегодня была бы названа нейтронно-томографическим определением. Высокий синклит во главе с Игорем Васильевичем одобрил предложение и «приговорил» группу Черноземовых к тому, что она будет разрабатывать методику, изготавливать оборудование, точнее, курировать его изготовление и, более того, осуществлять необходимый многолетний контроль изделий при массовом производстве.

В Курчатовском институте не было принято обсуждать поручения. Они просто выполнялись. Так было и в нашем случае. Мы защищали наши кандидатские диссертации со сдвигом в три-четыре года. Но об отвлечении на прикладную работу не сожалели. Она сильно расширила наш кругозор в смежных областях и принесла удовлетворение от участия в создании одной из выдающихся отечественных экспериментальных установок, о которой мечтал Игорь Васильевич и в которую нам удалось внести свой небольшой, но оригинальный вклад.

Теперь я вернусь к уже сделанному признанию, что значение личности Курчатова в атомном проекте и общенаучный и общечеловеческий масштаб этой фигуры я смог оценить лишь позже. С начала 60-х годов я получил определенные возможности знакомиться с дея-

тельностью института и наследием Курчатова более обстоятельно и главным образом не за счет доступных архивных документов, а посредством разговоров с такими близкими соратниками Игоря Васильевича, как А.П.Александров и И.К.Кикоин, Л.А.Арцимович и В.В.Гончаров, М.И.Певзнер и В.И.Мостовой, Г.Н.Флеров, В.П.Джелепов, К.И.Щелкин, В.А.Давиденко и др. Значительно позже эту тему мне удалось достаточно подробно обсудить с Ю.Б.Харитоновым.

Вначале было трудно понять, почему на роль научного руководителя отечественного атомного проекта был выбран молодой ленинградский профессор Курчатов. Конечно, существенную роль сыграла рекомендация «главного академика Иоффе» (по определению Владимира Высоцкого). Но принималось судьбоносное решение, и оно было трудным. А уже позже, когда собранные Игорем Васильевичем сподвижники стали на крыло и продемонстрировали, каких высот они могут достигать в науке и технике (ощущая при этом свою исключительность и самостоятельность), все они почти единодушно благословили судьбу за то, что в руководстве отечественного атомного проекта, на ключевом посту научного руководителя, оказался Курчатов. Сознывая громадную ответственность и отдавая служению народу и науке всего себя без остатка — свой талант, свою душу, свою жизнь, он в значительной мере определил успех дела. Его решения основывались на фундаментальных результатах исследований, детальных технических и экспериментальных проверках. Это касалось и стадии постановки работы, и стадии ее завершения и превращения в изделие или объект. Он знал эти изделия и объекты до тонкости. Все первые объекты и изделия он либо сам непосредственно вводил в эксплуатацию, либо осуществлял руководство их испытаниями. Этим он персонифицировал



С. А. Ф. Иоффе. Санаторий «Узкое», вторая половина 50-х годов.

свою ответственность. В известной мере это способствовало и тому, что в рамках атомного проекта не было создано ни одного тупикового объекта или изделия.

Для своего ближайшего окружения и для всех людей, вовлеченных в сферу его бурной деятельности, он был образцом ученого с глубокими и разносторонними знаниями, преданностью науке и ее предназначению, образцом высокой требовательности к себе и своим коллегам. Вместе с тем он был удивительно доброжелательным человеком, при всей своей внешней резкости и необходимой решительности. Глубоко уважал достоинство каждого, с кем сталкивалась жизнь. В конфликтных ситуациях никогда не переходил грани делового обсуждения, не позволял себе опускаться до скандалов или оскорблений и находил, как правило, человечески приемлемые пути их разрешения. При этом он сам был скромным и обязательным,

защищенным чувством юмора и самоиронией.

По-видимому, одно из наиболее авторитетных и емких определений роли Курчатова в решении атомной проблемы высказал Анатолий Петрович Александров в интервью редактору газеты «Курчатовец» М. Хализевой в мае 1993 г.:

«Мне кажется, это был очень удачный выбор, определивший в конечном итоге успех всего дела. Действительно, рядом работали выдающиеся ученые, но, пожалуй, никто из них не мог так самоотверженно заниматься работой столь крупного масштаба, так увлечь собственным интересом, так зажечь огромный коллектив людей.

Работы в этой области для нашей страны были новыми, требовали нового стиля, создания крупных, хорошо организованных коллективов. И здесь Игорь Васильевич подходил как никто другой.

Масштаб задачи был действительно потрясающий. Курча-

тов разворачивает непостижимо разностороннюю деятельность, вовлекая других в вихрь идей, расчетов, экспериментов. На основании тончайших измерений, лежащих на грани возможностей науки того времени, делает далеко идущие (и всегда правильные) прогнозы. Темп и напряженность поисков были на пределе человеческих возможностей. Это мог выдержать только Курчатов».

Но мне кажется, что мы иногда обедняем истинную картину, не придавая достаточного значения другим проявлениям его характера и другим областям его деятельности, особенно относящейся ко второй половине 50-х годов. Для меня одним из поводов для размышления на эту тему послужил разговор с академиком Георгием Вячеславовичем Курдюмовым в самом начале 60-х годов, когда мы в Курчатовском институте обсуждали пути исследований по физике твердого тела и материаловедению.

Встреча планировалась в аскетичном кабинете Кикоина, проход Курдюмову был заказан по документам. Вдруг перед самым началом встречи раздастся звонок с поста охраны, заказывался ли проход по документам то ли Герасима, то ли Григория Курдюмова. Исаак Константинович, еле сдерживаясь, чтобы не рассмеяться, разъясняет, что пропуск заказан на Георгия Вячеславовича Курдюмова. Потом, положив телефонную трубку, говорит, что это прямо-таки наваждение какое-то: всегда что-нибудь в его имени, отчестве или фамилии искажают. И добавил, что это — с легкой руки Игоря Васильевича, но лучше расспросить самого Курдюмова. Вскоре в кабинет вошел Георгий Вячеславович. Он не был рассержен, наоборот, светился улыбкой. На вопрос, что за пассажи связаны с оформлением его прохода, он живо откликнулся:

«Если вы не знаете этой истории, я вам ее расскажу. Про-



изошло это в 1951 году. Тогда по случаю наших успехов с некоторыми сплавами я получил высокую награду правительства. Конечно, был рад. Но на следующий день, придя к себе в рабочий кабинет, я нахожу на столе документ, подписанный вчерашней датой И.В.Сталиным, согласно которому типовое здание школы, которое мы построили для расширения своих производственных возможностей, передается в связи с чрезвычайной необходимостью нашему соседу Андрею Николаевичу Туполеву. У меня даже потемнело в глазах. Куда в этой ситуации бежать, кому жаловаться. Оставалась одна надежда на Игоря Васильевича Курчатова, который как меня, так и некоторых моих знакомых выручал в трудных ситуациях. Я приехал к Игорю Васильевичу уже с полным пониманием безнадежности моей просьбы о помощи. Он мог мне процитировать из «Медного всадника» известное место: «С божьей стихией царям не совладеть». На самом деле, кто мог пойти против документа, подписанного самим Сталиным? Только безумец. Но Игорь Васильевич отреагировал несколько необычно на создавшуюся ситуацию. Во-первых, сказал он, все проходит согласно известной русской присказке: «Герасим, Герасим, мы тебя украсим, заведем в терем, а потом обсерем». А во-вторых, сейчас самое время возбуждать ходатайство о срочном строительстве нового школьного здания, благо территория в ваших окрестностях дает такие возможности.

Вроде бы ничего особого не сказал Игорь Васильевич, а на душе стало легче, и появилось срочное дело пробивания нового строительства. Как свидетельствуют многие, это был один из феноменов общения с Игорем Васильевичем — после разговора с ним у людей возникало чувство уверенности или надежды. А в узком кругу с той поры меня часто стали называть



С Мариной Дмитриевной на ВДНХ. Лето 1956 г.

Герасимом. Вот отсюда, наверное, и идут все недоразумения с пропусками».

Между тем помощь от Игоря Васильевича для развития своего института Курдюмов все-таки получил.

В шутиловом рассказе Георгия Вячеславовича мое внимание обратили на себя слова, из которых следовало, что в трудных ситуациях и он, и известные его коллеги искали помощи у Курчатова. Это свидетельствует о том, что Игоря Васильевича беспокоило не только положение его дел и дел его сотрудников, но и других коллективов. Если посмотреть повнимательнее с этой точки зрения на то, что и как делал Курчатov, то следует признать, что он действовал не только как лидер крупнейшей и ответственной национальной программы, но и как ученый и гражданин, обеспокоенный судьбами своей страны, своего народа.

Уже к концу 40-х годов он добивается создания филиала

ЛИПАН в Подмоскowie, в районе Дубны, где возникает Гидротехническая лаборатория и запускается уникальный для своего времени синхроциклотрон на энергии 200 МэВ. Впервые знакомившихся с этим ускорителем поражал вес магнита — 7000 т. Вскоре при поддержке Игоря Васильевича вблизи строятся еще более мощный ускоритель на 10 ГэВ и уникальный импульсный реактор для лаборатории И.М.Франка. И все это в совокупности становится началом международной исследовательской организации — Объединенного института ядерных исследований. В конце 50-х годов Курчатov настойчиво поддерживает строительство самого мощного на то время серпуховского протонного ускорителя на 70 ГэВ, линейного ускорителя электронов на 2 ГэВ в Харькове, синхроциклотрона в Гатчине. При этом, как и до начала атомного проекта, еще с довоенного ЛФТИ, приходилось доказывать, что сразу «овес» от та-





Подписание документа об образовании Института ядерной физики СО АН СССР. Справа стоит Г.И.Будкер.

ких машин не получается, а они нужны ученым, чтобы лучше видеть перспективы будущих фундаментальных и прикладных работ. Таким образом, Игоря Васильевича следует отнести к числу прозорливых физиков, способствовавших развитию в нашей стране работ по физике высоких энергий.

Следующее направление его активности касалось термоядерного синтеза, хотя правильнее говорить — физики плазмы и управляемого термоядерного синтеза. Когда в начале 50-х А.Д.Сахаров и И.Е.Тамм обратили внимание на возможность осуществления синтеза в термоядерной плазме с температурой около 200 миллионов градусов, причем термоизоляция такой плазмы может быть обеспечена большими, но достижимыми магнитными полями в 5—10 Тл, в стране развернулись сугубо секретные работы по проблеме магнитного термоядерного реактора. Вначале секретный характер им

придавался в связи с ожидавшимся оружейным направлением исследований. И здесь Игорь Васильевич действовал традиционным для себя методом. С одной стороны, он «воспитывал» начальство и добивался принятия необходимых правительственных директив. С другой — стремился вовлечь в эту работу талантливых исследователей и, как обычно, не ограничился беседами с ведущими специалистами, а провел серию обстоятельных семинаров по термоядерной тематике для привлечения молодых ученых. Напомню, что в то время карьера молодого ученого, только что закончившего вуз, начиналась в ЛИПАН с должности старшего лаборанта.

Позже, когда удалось снять избыточную секретность с термоядерных исследований, Игорь Васильевич стимулировал и поддерживал развитие этих работ не только у себя в институте (к этому времени ЛИПАН стал Институтом атом-

ной энергии), но и в других институтах, таких как ленинградский Физтех, харьковский Физтех и зарождавшийся Институт ядерной физики Сибирского отделения АН СССР, куда он подготовил отправку группы ярких физиков во главе с будущим академиком Г.И.Будкером.

Все эти работы, как и те, которых коснусь позже, проходили при неустанном внимании, а при необходимости и личном вмешательстве Игоря Васильевича. Он придавал большое значение совершенствованию высшего естественнонаучного образования. При его самом активном участии были организованы Московский инженерно-физический институт, Физико-технический институт в Долгопрудном, изменилось лицо физического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова, создавались десятки специализированных факультетов и специализированных кафедр в вузах многих городов — от Симферополя до Томска. И все это культивировалось и поддерживалось Игорем Васильевичем.

Да и в самом Курчатовском институте наряду с семинарами регулярно проводились циклы лекций о последних достижениях в различных направлениях физики и математики. Любое серьезное дело также начиналось с серии семинаров и специализированных лекций. Так было при развороте работ по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, при организации радиобиологических работ, при создании отдела физики твердого тела и во многих других случаях, включая введение в практику расчетов на электронно-вычислительных машинах. И эта традиция долго сохранялась в институте, была элементом естественной среды его обитания.

Во второй половине 50-х годов Игорь Васильевич выступил инициатором беспрецедентной акции, которая заключалась в создании системы республи-

канских и региональных атомных исследовательских центров, оснащенных ядерными реакторами различного типа, а также специальными лабораториями: циклотронными, материаловедческими, радиохимическими и другими. С помощью Советского Союза подобные центры создавались в ряде дружественных стран.

Как можно себе представить, Игорь Васильевич преследовал двоякую цель. Способствовать с помощью этих центров повышению уровня подготовки научных, преподавательских и инженерных кадров в регионах. А кроме того, привлекать новых специалистов и целые коллективы к важнейшей работе по использованию достижений атомной науки и техники в интересах народного хозяйства. Игорь Васильевич смог только начать это благородное дело, а продолжил его Анатолий Петрович Александров. Теперь, по прошествии полувека, можно утверждать, что эти центры сыграли выдающуюся роль в перестройке технико-социальной жизни нашей страны, и не только нашей.

В буквальном водовороте дел и событий, которые «закрутил» Игорь Васильевич, со временем, несмотря на начинающую сказываться усталость и возникающие медицинские ограничения, заметную роль стала занимать деятельность по развитию международного научно-технического сотрудничества, хотя на самом деле она была и шире и глубже того, что традиционно вкладывается в это понятие. Нет, Игорь Васильевич не перестал быть научным руководителем атомной программы. И производство делящихся материалов, и бомбовые дела по-прежнему в центре его внимания. Но наряду с этим он затевает активную работу по созданию атомных электростанций для европейской части Союза, что встречает серьезное сопротивление в правительственных кругах и даже среди энергетиков и самих



Наедине с природой. Конец 50-х годов.

атомщиков. Он разворачивает работы по созданию уникальных исследовательских ядерных реакторов (с предельно большим нейтронным потоком — СМ-2, импульсного графитового — ИГР), по надводному и подводному атомному флоту, по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу и многое другое. И все это происходит на фоне двух существенно меняющихся условия работы обстоятельств.

Одно обстоятельство субъективного характера. Уже после первого испытания отечественной термоядерной бомбы в 1953 г., потрясенный виденным, он заявляет своему другу Александрову: «Анатолиус! Это было такое чудовищное зрелище! Нельзя допустить, чтобы это оружие начали применять». Последующие испытания только укрепили его в убеждении о необходимости предотвращения ядерного конфликта и недопус-



С С.П.Королевым. 1959 г.

тимости расплзания ядерного оружия по Земле.

Другое обстоятельство было внешнего характера: в стране произошла смена политического руководства. Вместо Сталина и Берии пришли совершенно другие люди. И здесь, опираясь на свой высокий авторитет, несмотря на обостренное политическое противостояние СССР и США, Игорю Васильевичу удалось многое сделать для того, чтобы начался переход от политики конфронтации к политике мирного сосуществования — к изменению внешнеполитической стратегии. Он выступал инициатором и всемерно поддерживал начало прямого диалога между СССР и США по вопросам приостановки или запрещения ядерных испытаний, создания в рамках ООН международной организации по мирному использованию атомной энергии.

В середине 1955 г., когда уже состоялась договоренность о проведении I Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии, Курчатовым была организована специальная сессия АН СССР. Сессия проводилась при непосредственном участии Игоря Васильевича как этап при подготовке к Женевской конференции и способствовала достойному представлению на ней отечественных ученых.

Чуть позже, в конце 1955 г., проводилась Всесоюзная конференция по управляемым термоядерным реакциям. Это была первая такого рода конференция. И одновременно один за другим шли всесоюзные совещания по ускорителям, по физике деления, по исследовательским реакторам.

В первой половине 1956 г. происходит событие, означающее реальный прорыв в про-

блеме международного научно-технического сотрудничества. В конце апреля в составе правительственной делегации Курчатов прибывает в Англию, где в одном из крупнейших ядерных центров Харуэлле при стечении английских (и не только английских) ведущих специалистов делает два сенсационных доклада: о перспективах работ по атомной энергетике и работах по управляемым термоядерным реакциям в СССР. И если малая часть информации, содержащейся в первом докладе, публиковалась ранее, то доклад о термоядерных реакциях представлял собой только что рассекреченные данные. Наша сторона раскрыла свои секреты и предлагала мировой научной общественности вести совместные работы по жизненно важным для цивилизации источникам энергии. Эти два доклада по эффекту, произведенному на общественность, можно в известной мере сравнить с сообщениями об испытании первой советской атомной бомбы.

Призыв отечественных ученых был услышан, и постепенно в мирном использовании атомной энергии стало налаживаться международное научно-техническое сотрудничество. Более того, в ряде областей, и в первую очередь в термоядерных исследованиях, начиная с их рассекречивания Курчатовым, оно не прерывалось даже в самые острые фазы холодной войны. Да и само это направление может служить образцом организации длительного плодотворного сотрудничества, принявшего самые широкие международные масштабы.

Все сказанное — не более чем штрихи к портрету Курчатова, без которых затруднительно понять, почему фигура Игоря Васильевича так сильно выделяется на фоне его выдающихся современников. ■



# «Научные восторги»

Академик М.А.Садовский

В моем сознании невольно ассоциируются два имени, казалось бы, мало связанные друг с другом: Маршал Советского Союза Г.К.Жуков и академик И.В.Курчатов. Однако есть много общего в роли, сыгранной ими в жизни и истории нашей Родины. Оба они выдвинулись во времена, когда над нашей страной нависла смертельная опасность, связанная с нападением фашистской Германии, и угрозой ядерного уничтожения.

О роли и действиях Георгия Константиновича Жукова, сумевшего возродить военную мощь нашего Союза, подорванную преступными действиями сталинской своры, сказано так много, что ничего нового неспециалист к этому добавить не сможет.

О жизни и подвиге Игоря Васильевича Курчатова известно явно недостаточно. Перед будущими исследователями (не только физиками) стоит благородная задача восполнить существующий пробел в истории нашего Союза. Работа эта потребует не только времени и большого труда, но и специальных знаний в области истории и философии науки, сбора многих данных, характеризующих Курчатова как крупного ученого и организатора.

Для полного представления о нем как о человеке могут оказаться полезными даже малосущественные на первый взгляд факты из его жизни, из общения с окружающими. Поэтому я счел возможным поделиться с чита-



С М.А.Садовским возле своего дома. Конец 50-х годов.

телями некоторыми своими впечатлениями, которые могут в какой-то степени характеризовать величественную фигуру Курчатова.

Будучи студентом физико-механиком, учеником А.Ф.Иоффе, Н.Н.Семенова и других ученых, работавших в Физико-техничес-

ком институте, я знал о существовании Игоря Васильевича и был знаком с ним с давних пор. Однако относился к нему хотя и с симпатией, но и с известным равнодушием. Прямых контактов у меня с ним не было.

Впервые мое равнодушие было поколеблено высказывания-

© М.А.Садовский  
 © Ю.Н.Смирнов. Сост. сб.  
 «Курчатов в воспоминаниях  
 и документах». М., 2002  
 © Изд-во РНЦ «Курчатowski  
 институт»



ми почитаемого мной Иоффе во время эвакуации в Казани. Абрам Федорович в тот период сунул меня в отдел специальных работ Президиума Академии наук, назначение которого состояло в обеспечении связи армии с наукой. Не видя особенного энтузиазма с моей стороны, Абрам Федорович утешал меня тем, что я всегда могу отвести душу в поздних и ночных разговорах с ним о физике. Во время одного из таких разговоров Абрам Федорович и сказал мне, что принял чрезвычайно важное решение о своем преемнике на посту директора Физико-технического института, любимого своего дитя. Он говорил, что для него это было одним из важнейших решений в жизни. И лишь сейчас он спокоен за будущее. Признаться, когда я услышал, что его выбор пал на Игоря Васильевича, я несколько удивился. Заметив это, Абрам Федорович задумался, а потом сказал, что в Игоре Васильевиче собран весь комплекс качеств, необходимых руководителю такого нового научного учреждения, как Физико-технический: он широко понимает задачи науки, отлично разбирается в технических проблемах и как никто умеет вовлечь, заинтересовать участников своего дела. Кроме того, он понимает возможности каждого и умеет правильно выбрать для них наиболее подходящую роль.

Поэтому, когда стало известно, что наша страна включилась в работу по созданию ядерного оружия, я уже не удивился, узнав о назначении Курчатова главой науки в этой сверхсложной проблеме.

Вернувшись из эвакуации вместе с Институтом химической физики в Москву в качестве заместителя Семенова, я полагал, что связал свою судьбу с химической кинетикой, с ее использованием во взрывных процессах. Однако, будучи страстным патриотом, Николай Николаевич не мог остаться в стороне от проблемы ядерного оружия и, жертвуя своими научны-

ми интересами, взялся за сумасшедшую задачу обеспечения полевых испытаний этого оружия.

В Институте химической физики был образован Спецсектор\*, руководство которым было поручено мне. Много лет спустя мы с Николаем Николаевичем признались друг другу, что взялись за это дело потому, что не понимали всей его сложности и трудности.

Действительно, помимо теоретического и экспериментального изучения самого процесса ядерного взрыва, нам пришлось создать конструкторское бюро и приборостроительные цехи, приспособленные к разработке и изготовлению приборов, о которых в СССР никто до этого и не думал. Многошлейфовые и катодные осциллографы с рекордными по тем временам разрешениями, лупа времени с частотой съемки в миллион и более кадров в секунду... И десятки, если не сотни типов других измерителей механических, оптических, тепловых и радиационных характеристик взрывов были разработаны и изготовлены в сериях за фантастически короткое время — менее чем за два года.

С этого времени мне и пришлось войти в близкие контакты с Игорем Васильевичем. Он никогда не вмешивался в мои дела, никогда не пытался чему-либо учить. Иногда мне казалось, что он просто не интересуется тем, что делали мы в своем Спецсекторе. Но, как оказывалось, он отлично знал, как у нас идет дело. И всегда успевал оказать содействие в решении непосильных для нас вопросов.

Как только более или менее наладилось дело с подготовкой аппаратуры, он заслал меня в Ленинград — сначала в институт, разрабатывавший проект Семипалатинского полигона, а затем и на сам полигон для авторского надзора за строитель-

\* Позднее, когда М.А.Садовский стал директором Института физики Земли (ИФЗ) АН СССР, этот Специальный сектор, занимавшийся изучением ядерных взрывов в ходе полигонных испытаний, был включен в состав ИФЗ. *Примеч. Ю.Н.Смирнова.*

ством. Однако постоянные контакты и наиболее близкие отношения с Игорем Васильевичем возникли у меня во время многолетних испытаний на полигоне под Семипалатинском.

Целый день мы все находились на опытном поле полигона. А вечером после обеда все собиравались в гостинице, где жил не только Игорь Васильевич, но и многочисленное начальство, прибывавшее на особо ответственные испытания. Часто там бывал А.П.Завенягин, а также Б.Л.Ванников, академики, генералитет и, конечно, наш брат — научные руководители подразделений полигона.

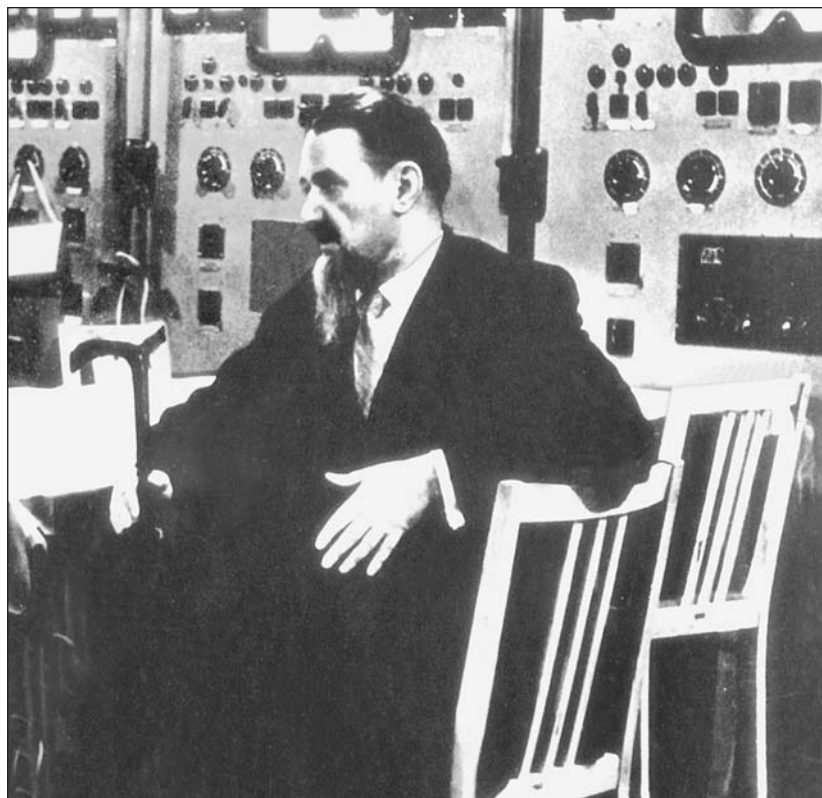
После напряженного рабочего дня вся эта публика с удовольствием отдыхала, разговоры велись на разные вольные темы, и вдруг... бодрый голос Игоря Васильевича: «Мукасий, собирай ружья!» Мукасейев был порученцем Игоря Васильевича, осуществлявшим связь со всеми участниками испытаний. Проходило минут пять-десять, и «руководящие ребята» — министры, генералы и академики — собирались в комнате Игоря Васильевича, и начиналось обсуждение выполненного и наметок будущих работ. Команд не было — исполнители заданий сами рассказывали о том, что и как они собираются делать, договаривались друг с другом. Все это на глазах Игоря Васильевича, который в своей памяти собирал и систематизировал не отдельные детали, а создавал синтетическую картину состояния подготовки к испытаниям на данный момент. Нередко после окончания такого совещания он мог позвонить домой чашиков так около двух-трех ночи и спросить: «Миша, ты что делаешь? Спишь? Ну спи, спи... А впрочем, зайди ко мне, я тебя озадачу!» И озадачивал или соглашался, что все в порядке.

Как-то я спросил, долго ли он будет пить нашу кровь и не давать нам покоя. Он очень удивился: «Так у вас же в распоряжении целый день!» Когда же я заметил, что его вечерние и ноч-

ные «озадачивания» днем заменяются подобными же, но исходящими от Завенягина, он с удовольствием заметил, что, значит, Генерал (так он называл Авраамия Павловича) активно включился в работу. И это его, Курчатова, радует, как должно радовать и меня. И продолжалось: «Миша, ты чего здесь сидишь? Ну, сиди, сиди... А впрочем, зайди ко мне, я тебя озадачу». Слышалось это часто и в большинстве случаев — по делу.

Бывали, правда, и ложные тревоги. Одна из них запомнилась мне особенно ярко потому, что с ней был связан И.К.Кикоин, изредка также бывавший у нас на полигоне. Сидели мы с Исааком и спокойно беседовали. И вдруг: «Вы чего это сидите? Ты же знаешь, Миша, Исаак хорошо разбирается в оптике. Поезжайте немедленно на опытное поле и подумайте, как осуществить такой-то эксперимент». Об эксперименте не говорю, так как и на старуху бывает проруха: предложение Игоря Васильевича было явным недоразумением. Я, конечно, не выдержал и стал протестовать, ожидая поддержки Исаака. Однако этот мудрец не только не протестовал, но согласился ехать немедленно. Я был возмущен. Но деваться было некуда, и мы отправились. По пути я стал ругать Исаака. Он невозмутимо развяснил, что сейчас мы спокойно едем и спокойно вернемся, вместо того чтобы тратить время и нервы на преодоление Игорева упрямства. «Да ведь он же спросит, что мы сделали!» «Вот уж никогда этого не будет: он уже сам все сообразил и забыл». Исаак оказался прав: никаких вопросов не было. Вообще же Игорь Васильевич всегда помнил свои поручения и требовал ответа на них в достаточно настойчивой форме.

В нашей работе на полигоне иногда возникали длительные паузы, связанные либо с задержками в подготовке объектов испытания, либо с неподходящим направлением ветра, либо еще с чем-то непредвиденным. Ос-



За день до смерти, 5 февраля 1960 г., на установке «ОГРА».

новной состав работников не очень страдал от этого. Зато Игорь Васильевич не переносил безделья и всегда находил какие-нибудь занятия для заполнения свободного времени. Одним из наиболее удачных его изобретений в этом плане были «Научные восторги». Так назвал он еженедельные семинары по оперативным научным задачам, возникающим в процессе подготовки к испытаниям.

Вспоминается такой случай на одном из первых испытаний. Мы тогда еще не знали и тем более не понимали причин образования полей огненной «шляпы», образующихся при взрывах на малой высоте. Впоследствии выяснилось, что эффект этот, связанный с аномально быстрым распространением ударной воздушной волны в приземном слое воздуха, раскаленного до тысяч и более градусов световым излучением, деформирует волну. В результате один из

основных методов оценки мощности взрыва, основанный на измерении давления ударной волны или скорости ее распространения, отпадает и вся огромная сеть наших измерителей ударной волны оказывается бесполезной. Тогда мне пришло в голову попытаться измерять не пиковое давление волны, а ее импульс. Проведя соответствующие контрольные опыты, я предложил использовать этот метод, вызвав возмущение теоретиков, работавших на полигоне. А теоретики были серьезные — сам Я.Б.Зельдович заявил, что метод не годится, и привел тому свои доказательства, казалось бы, неопровержимые.

Игорь Васильевич познакомился со всеми материалами и вынес решение: «Считать, что жираф существует. Метод принять». Что и было сделано с полным успехом. Впоследствии было найдено и теоретическое обоснование импульсному методу.

Второй случай был связан с совершенно неожиданным и необъяснимым происшествием в ходе эксперимента, который грозил бедой, но, к счастью, закончился благополучно. Игорь Васильевич вызвал меня, выругал, потребовал объяснение «безобразию» и на все мои попытки оправдаться сказал только: «Во вторник, Миша, ты должен на «Научных восторгах» дать не только предложения, исключающие возможность таких случаев, но и объяснение их причин». До вторника оставалось пять дней. Не буду описывать свои и моего товарища — Ю.В.Кондратьева — переживания. Скажу только, что догадка пришла внезапно. Мы были горды и, по правде говоря, ждали если не восхищения нашей работой, то хотя бы похвалы. Однако Игорь Васильевич сказал только: «Вот видишь, как просто. А ты шумел и говорил о трудностях решения этой задачи. Дайте соображения на будущее».

Игорь Васильевич редко был категоричен и, даже «озадачивая», не командовал, а скорее советовал или советовался с собеседником о том, как наилучшим образом осуществить задание. Мне помнится только один случай, когда Игорь Васильевич в разговоре со мной отказался слушать какие-либо возражения. Дело было в 1958 году, когда обсуждался вопрос о запрещении ядерных испытаний. Политика Запада основывалась на отрицании возможности гарантированного обнаружения ядерных взрывов. Мы утверждали, что в любых случаях ядерный взрыв может быть обнаружен. Решено было созвать международное совещание экспертов для решения вопроса, кто же прав.

Главой советских экспертов был назначен Е.К.Федоров, его заместителем Игорь Васильевич рекомендовал меня. Обстоятельства мои сложились так, что ехать мне было крайне неудобно, попросту невозможно, о чем я и сказал ему. Он на меня буквально завопил: «Ты что же,

не понимаешь, что это безобразие надо немедленно прекращать! Уж кому, как не тебе, должно быть понятно, к чему может привести то, что сейчас творится с испытаниями! Никаких разговоров, поедешь и все». И поехал, и более 30 лет занимался этим нудным делом, уверовав в конце концов, что оно действительно необходимо для сохранения жизни на Земле.

Кстати, раз уж вспомнилось имя Евгения Константиновича Федорова — моего дорогого и незабвенного друга, — хочу рассказать о том, как произошло его включение в работу по ядерным испытаниям.

У нас на полигоне не раз бывали случаи, когда некоторая доля радиоактивных продуктов взрыва попадала в атмосферу и разносилась ветром на довольно значительные расстояния. Естественно, это всех беспокоило, и Игорь Васильевич потребовал организовать специальное научное подразделение для изучения этой стороны дела. Когда я сказал, что у меня имеется конкретное предложение поручить изучение процесса радиоактивного следа Институту прикладной геофизики, руководимому Е.К.Федоровым, Игорь Васильевич выразил сомнение, не окажется ли Евгений Константинович во время очередных испытаний на Северном или Южном полюсе Земли\*. А может быть, где-нибудь еще дальше.

Надо сказать, что, несмотря на сомнения, Игорь Васильевич принял предложение, и Институт прикладной геофизики очень удачно включился в наши работы.

Всегда приветливый, благожелательный, бесконечно терпеливый, Игорь Васильевич производил впечатление человека полного и сил, и несокрушимого здоровья. Одно его появление среди работающих давало заряд

бодрости и уверенности в успехе. Не могу не вспомнить одну из встреч с Игорем Васильевичем. Вызвал он меня к себе в институт (было это в 1952 г.) и заявил, что он видит меня последний раз, если в течение месяца я не защитишь докторскую диссертацию. «Ты меня знаешь, — сказал он, — это не шутка. А теперь иди — выполняй». Не смог я в точности выполнить его желание и защитился не через один, а через два месяца...

Мы, работавшие с Игорем Васильевичем, верили, что с ним мы можем решать любые вопросы, выполнять любые задания. Долгое время я удивлялся его поразительной работоспособности. Мы не задумывались о том, что и его богатырские силы имеют предел. Нечеловеческая нагрузка, постоянное сверхнапряжение не только, а может быть, не столько физических, сколь нервных сил не могли не отражаться на его здоровье.

Встречаясь с ним в Москве после 1957 г., я с беспокойством обнаруживал некоторые изменения в его характере. Он стал значительно мягче, в разговоре с ним чувствовалась большая теплота и благожелательность. Он отлично понимал свое состояние и не скрывал этого. Как-то пригласив к себе домой, Игорь Васильевич, угощая меня коньяком, предупредил, что на этот раз я должен выпить без него, так как до очередного удара он должен еще кое-что сделать. И просил меня выполнить кое-какие поручения на полигоне для обеспечения новой серии работ, не связанных с ядерным оружием. Печальная это была встреча...

После нее я еще раз видел Игоря Васильевича в Барвихе, но уже никаких разговоров о работе мы не вели. Казалось, он был по-прежнему бодр и доброжелателен. Но это не могло обмануть человека, хорошо его знавшего.

Через несколько дней мы потеряли своего Главкома... ■

© Текст подготовлен при участии  
Ю.Н.Смирнова

\* Е.К.Федоров — полярный исследователь, входивший в состав отважной папанинской четверки, дрейфовавшей на льдине в 30-е годы в районе Северного полюса.  
Примеч. Ю.Н.Смирнова.

# Эволюция геосферно-биосферной системы

Г.А.Заварзин

Изначально климат считался независимой геосферной переменной, определяющей состояние биоты и распределение природных зон в духе А.Гумбольдта. Зональность климата обеспечивается прежде всего энергетическим балансом в географической зоне, а также переносом тепла и влаги по поверхности Земли. Газовый состав атмосферы (за исключением инертных газов) связан с деятельностью биоты, точнее микробиоты. Именно она преобразовала в прошлом первоначальные продукты дегазации Земли в воздух, а сейчас контролирует циклы элементов с газообразной миграцией. Отсюда вытекает единство геосферно-биосферной системы. Разделение понятий геосферы и биосферы удобно для анализа, хотя и противоречит принятому вслед за Вернадским пониманию биосферы как единой системы.

Изменение масштаба в изучении геосферно-биосферных процессов повлекло за собой необходимость иного подхода. Эволюционные построения в биологии сводятся к филогении видов и упорядочению их множества (биоразнообразия).

© Г.А.Заварзин

Статья подготовлена на основе лекции, с которой автор выступил на Чтениях памяти Н.Н.Воронцова в Институте биологии развития им.Н.К.Кольцова 13 марта 2002 г.



*Георгий Александрович Заварзин, академик РАН, заведующий отделом микробных сообществ Института микробиологии РАН. Основные научные интересы связаны с изучением многообразия бактериального мира. Член редколлегии журнала «Природа» (с 1982 г.).*

**Редакция поздравляет Г.А.Заварзина с 70-летием и желает юбиляру здоровья, творческих удач, благополучия и новых публикаций в нашем журнале.**

Генеалогия находится в области дарвинизма или синтетической теории эволюции, разработанной вплоть до молекулярного уровня, основу которого составляют точечные мутации. Такой подход предполагает построение системы снизу-вверх, от индивидуального события к изменению целого. В течение полутора столетий этот принцип согласовывался с мировоззрением конкурентных рыночных отношений и демократическими свободами, которые привели в Рос-

сии к тому, что академик Б.В.Раушенбах назвал какократией (гр. какош — скверный, плохой).

Однако подход снизу-вверх оказывается неполноценным, потому что легко упустить какие-либо взаимодействия. Анализ должен быть строго иерархическим сверху-вниз, от общего к частному. Поскольку слово «система» здесь будет употребляться часто, его необходимо пояснить. В математике простейшее понятие — «множество», т.е. собрание каких-либо



объектов, элементов (например, в биологии видовое разнообразие). Множество может быть упорядочено. Этим занимается классификация, в том числе и таксономия, в основе которой лежит общность происхождения. Мы будем понимать под системой множество с функциональными связями, обеспечивающими целостность системы.

## Единая система

Итак, система — это целостность, обусловленная функциональным взаимодействием входящих в нее частей. Для взаимодействия необходимо **единство времени и места**. Невозможно взаимодействовать с тем, что было, будет, или с тем, что находится вне пределов досягаемости. «Есть только миг между прошлым и будущим. Именно он называется жизнь», — так в популярной песне пересказаны «Мысли» Марка Аврелия: «Время человеческой жизни — миг». Значит, при анализе геосферно-биосферной системы приходится опираться на горизонтальный срез одновременно происходящих событий. Такой подход ближе к «геогнозии»

Гумбольдта, чем к эволюционному учению Дарвина, сосредоточенному на генеалогической вертикали, подобной стратиграфии геологических отложений.

Определяются ли свойства объекта происхождением или совместимостью с системой, в которую он входит? Ответ очевиден: если объект несовместим с системой, то каково бы ни было его происхождение, он не может в ней существовать. Но между геологическими и биологическими объектами большая разница из-за времени жизни. Циклически возобновляемый организм существует в несвойственных ему условиях лишь ограниченное время (как реликтовые рожи в какой-нибудь долине). Он непрерывно должен возобновляться соответственно своему окружению или исчезнуть. Отсюда вывод о биологической эволюции в направлении приспособленности. Для геологических объектов характерно иное время: они сохраняются в виде отложений со времени образования, хотя минеральный состав может меняться в соответствии с условиями.

Для взаимодействий в системе важны только свойства объекта, определяющие **функцио-**

**нальные связи**. В биологической системе — это трофические отношения между компонентами, объединяющими их в сообщество. Они обусловлены типом питания: фотоавтотрофным — у растений, зоотрофным — у животных, осмотротрофным — у грибов и прокариот.

Растения имеют сходные потребности в свете, воде, минеральных элементах и конкурируют за них между собой. Такая борьба неизменно ведет к выживанию наиболее приспособленного, а в **конечном результате — к монополии**. В итоге получается однородное сфагновое болото, лишневая тайга, заросли папируса или тростника, т.е. победа социальных растений, создающих в неблагоприятных условиях устойчивое сообщество с минимальным разнообразием. У животных пищевые пирамиды менее интересны, потому что на первый план выступает многоэтапное усложнение. Наиболее важны трофические связи у осмотротрофных прокариот, поскольку **микробное сообщество безусловно первично** на Земле. Оно обнаруживается с начала геологической летописи. Все, что было до того, относится к области, образно названной геологом В.Е.Хайным фантомной, призрачной, и составляет область фантазий биопозза.

Взаимодействия в сообществе в первую очередь **кооперативные**. Сообщество имеет энергетический и материальный баланс, который проще анализировать, рассматривая потоки вещества в системе; если потоки замкнуты в циклы и конечный продукт идентичен субстрату первичного продуцента, сообщество автономно. Топические характеристики (обусловленные единством местообитания) определяют выборку компонентов из множества видов, способных выполнять необходимые функции в данных условиях. Набор их должен быть достаточен для целостного и устойчивого сообщества. Устойчивость предполагает не только пространственную

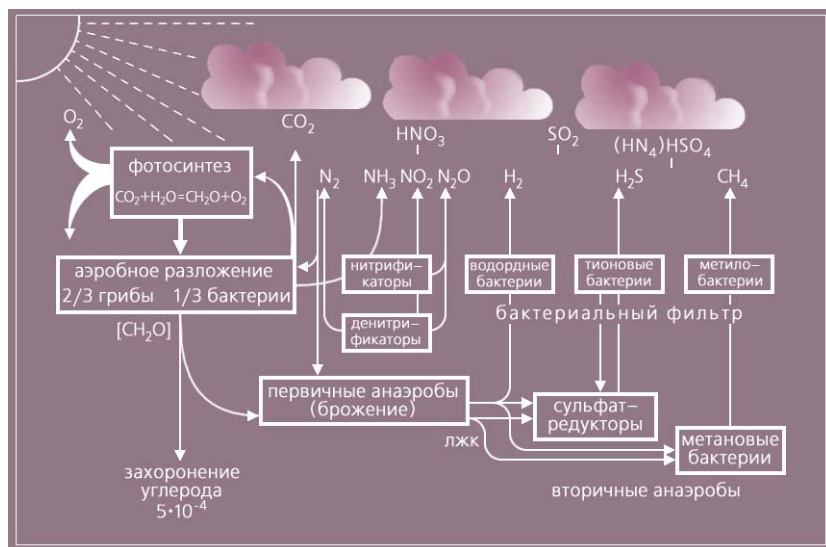


Схема формирования состава атмосферы Земли с участием разных физиологических групп микроорганизмов.

и функциональную характеристику, но и временную.

Группировки организмов называют функциональными (в микробиологии — физиологическими), и они попадают в так называемые фундаментальные экологические ниши. При морфологическом подходе употребляется термин «жизненные формы» со своей классификацией и обыденной терминологией, которую почему-то называют тривиальной и ненаучной, хотя она происходит из повседневных потребностей описания объектов. Еще Гумбольдт в «Ansichten der Natur» («Картинки природы») восставал против линнеевской научной классификации как бесполезной при описании ландшафта.

**Необходимо строго различать понятия «эволюция» и «филогения».** Эволюцию геосферно-биосферной системы нельзя назвать филогенией. Значит, биологи-эволюционисты, ставящие знак равенства между филогенией и эволюцией, вводят слушателя в заблуждение, не всегда непреднамеренно используя логическую подмену понятий. В геологическом масштабе явлений можно говорить об эволюции микробных сообществ

в составе геосферно-биосферной системы.

Географическая оболочка Земли изменяется под действием прямых геосферных факторов (дегазации, тектоники, выветривания, седиментогенеза) и обратных связей от биоты с ее непосредственной средой обитания (здесь биосферой). Наиболее значимый результат таких связей — появление около 2 млрд лет назад кислородной атмосферы как результат деятельности оксигенных фототрофов — цианобактерий.

### Бактериальная палеонтология

Фактическую основу для изучения истории микробного мира дает бактериальная палеонтология — область науки, развившаяся в последнее время. Опирается она на микрофоссилии самих микроорганизмов и биогенные породы (например, цианобактериальные маты, превратившиеся в строматолиты). Разрозненные, но тем не менее признанные, доказательства говорят о существовании микробиоты с начала осадочной летописи, с границы «фантомной» области (3.5 млрд

лет назад). Микрофоссилии цианобактерий на всем протяжении истории Земли свидетельствуют об отсутствии у них сколько-нибудь значительных изменений [2]. Их можно идентифицировать по определителям современных синезеленых водорослей, а их древние сообщества отличаются не больше, чем современные, между собой. Отсюда следует, что эта группа прокариот осталась неизменной. В результате под вопросом оказывается одна из фундаментальных посылок эволюционной биологии: развитие в направлении возрастающей приспособленности и вымирание менее приспособленных предков.

Для бактериолога особенно важно прийти к основанию филогенетического дерева, спуститься ниже бактериальной клетки. Для меня вопрос о происхождении жизни путем химических реакций (биопоэза) лежит за пределами экспериментального познания. Если из бесклеточного экстракта, содержащего все компоненты клетки в надлежащей пропорции, не происходит самосборки, значит, простейший организм представляет собой эмерджентную систему взаимозависящих час-

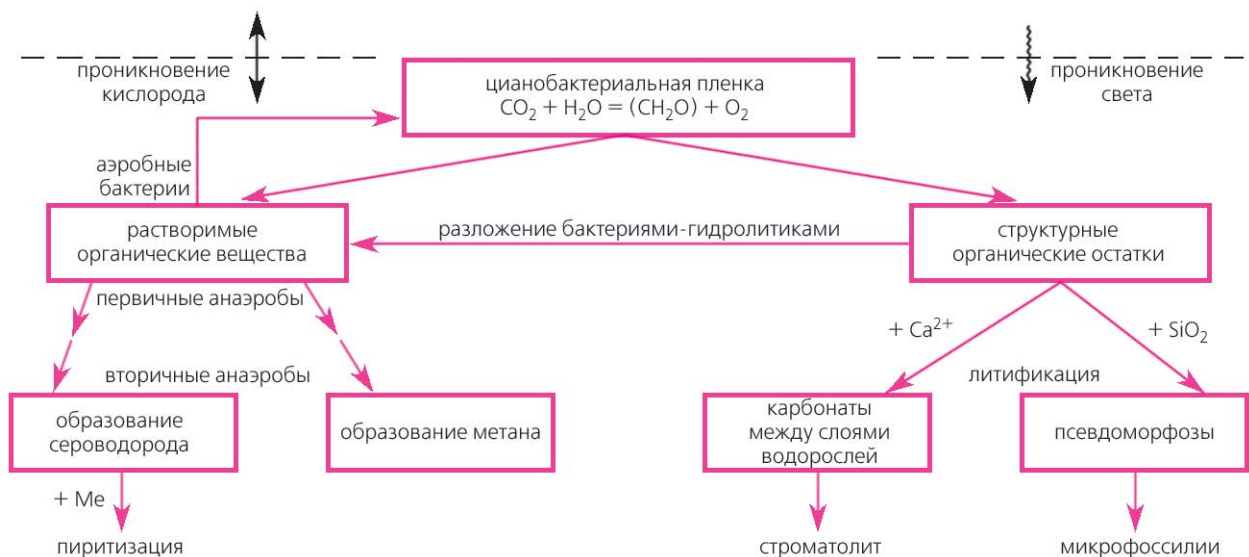
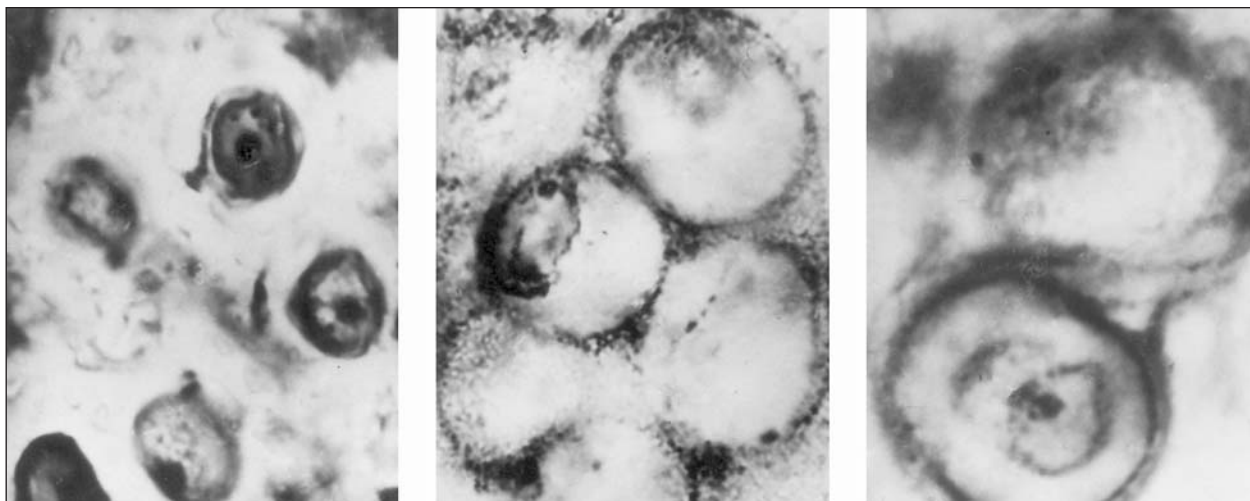


Схема основных процессов, происходящих в цианобактериальном сообществе. (Заварзин Г.А., Крылов И.Н. // Природа. 1983. №3.)



Сферические клетки синезеленых водорослей: современные, Камчатка (слева); ископаемые из верхнерифейских отложений (800 млн лет), Южный Урал (в центре); из нижнерифейских отложений (1.5 млрд лет), Южный Урал (справа). Диаметр клеток — 15–20 мкм [3].

тей. Пока не получено самовоспроизведение системы из ДНК, введенной в мембранную везикулу, нельзя говорить о решении проблемы возникновения жизни. Абиогенный синтез компонентов клеток не может дать ответа на этот вопрос, поскольку решает совсем другую задачу.

В этом я расхожусь с геохимиком Э.М.Галимовым, рассматривающим происхождение химических компонентов в своей только что вышедшей книге «Феномен жизни» (М., 2001), содержащей критику дарвинизма. Вместе с тем я разделяю его эмпирические обобщения относительно эволюции организмов. Галимов, оперируя методами термодинамики неравновесных процессов, пришел к выводу, что «комбинаторная эволюция не требует элиминирования предшественника» (с.147) и что «филогенетическая модель должна, по-видимому, выглядеть не как ветвящееся дерево и даже не как двумерная сеть, а как многомерное пространство, в котором возможно перекрещивание дальних генетических связей». Такая же комбинаторная картина получилась у меня при анализе фенотипического разнообразия бактерий в 70-х годах [2].

Согласно логике дарвинизма, вид есть результат развития предковых форм, а свойства его определяются генеалогией. Множество организмов можно упорядочить соответственно последовательности происхождения. Такое филогенетическое дерево и объявляется конечной целью познания в биологии. Первоначально ряды строились по возрастанию сложности формы, универсального свойства для всех живых существ. Так восстанавливалась последовательность происхождения, которая объективно подтверждалась палеонтологией.

Для бактерий-прокариот невозможно указать предка, поскольку они простейшие организмы. Но их филогенетическое дерево, построенное на основе последовательности нуклеотидов гена рибосомальной РНК, сейчас можно считать наиболее устоявшимся. В отличие от палеонтологии точкам ветвления дерева (сходства генов) не соответствуют реальные объекты. Предполагается, что геномы современных бактерий сохранились без изменений и что поэтому их **филогенетическое дерево сходства отражает генеалогию**. Отсюда мы приходим к заключению, что прошедшая через

всю историю Земли изначальная группа организмов не менялась. Следовательно, синтетическая теория эволюции, так вдохновенно разработанная для высших организмов, не универсальна в иных масштабах времени.

## Эволюция бактерий

Разумеется, вывод об отсутствии эволюции у бактерий весьма преувеличен. Я не буду останавливаться на «молекулярных часах», которые могут идти с разной скоростью у термофилов и других обитателей экстремальных биотопов, нуждающихся в активном механизме репарации. Бактерии приспосабливались к новым условиям, и фекальная микрофлора с ее центральным объектом *Escherichia coli* распространилась лишь с появлением фекалий.

Функциональное разнообразие бактерий, как физиологическое, так и морфологическое, плохо согласуется с их филогенезом: организмы со сходными функциями имеются в разных ветвях. Другое дело, что некоторые многочисленные по видовому разнообразию группировки (например стрептомицеты) об-

разуют филогенетические классы, но это обычная для систематиков ситуация. Для жизни сообщества происхождение организмов второстепенно, важны функциональные характеристики, обуславливающие формирование связей.

Трудность при объяснении возникновения сложных и совершенных систем даже в простейшей клетке-организме побудили искать конструктора, выступающего в роли Творца. В геосферно-биосферной системе **возможности эволюции определяет большая система**. Она задает функции, которые могут быть реализованы в виде пространства логических возможностей, заполняемого развивающейся биотой. Эти возможности диктуются в первую очередь трофическими особенностями, т.е. типом катаболизма, и во вторую — единством местообитания. Отсюда получается многомерное пространство «фундаментальных экологических ниш». Возможности подчиняются правилам, продиктованным большой системой, следовательно, эволюция протекает по определенным законам, «номотетически», как говорил А.А.Любищев. По отношению к этим закономерностям генеалогия — случай, а индивидуальные изменения играют подчиненную, второстепенную роль.

**Бактерии эволюционируют на основе системных закономерностей.** Для них главное — обмен небольшими функционально значимыми частями генома, которые могут встраиваться в филогенетически различную основу. Отсюда появляется **комбинаторная** система функционального разнообразия прокариот. Для обоснования их прагматической классификации принимается латеральный перенос генов. Однако вакханалии переноса нет — процесс ограничен мощными механизмами гетерофобии, позволяющими организму оставаться тем, что он есть. Для прокариот это прежде всего рестрикция. В упрощен-

ном виде можно сказать, что генетическое биоразнообразие прокариот определяется консервативным ядром, направленным на внутреннюю жизнь клетки, и адаптивной оболочкой, обеспечивающей взаимодействие со средой обитания.

Следующую ступень усложнения организмов с эвкариотным строением клетки сейчас связывают с симбиогенетической теорией происхождения, которая разработана на основе наших жестких современных доказательств натуралистских наблюдений А.С.Фаминцына и воплощенных в гипотезу эндосимбиогенеза Л.Маргулис. Она базируется на **макроизменениях**, происходящих в результате интеграции разных организмов в единую систему, когда самостоятельное существование отдельных частей становится невозможным. При возникновении эвкариот такое объединение происходила, видимо, многократно. Сборная группа организмов, объединяющая одноклеточные и колониальные низшие эвкариоты, получила название «протисты». Разнообразие их комбинаторно, а попытка построить филогенетическое дерево приводит к кусту с множеством ветвей. Здесь следует отметить два обстоятельства. Во-первых, случаи симбиогенетической интеграции относительно немногочисленны: хлоропласты и митохондрии скорее всего монофилетичны по происхождению. Во-вторых, при всем своем разнообразии протисты по способу питания делятся на две группы: фотоавтотрофы и органогетеротрофы, причем с усложнением организмов функциональное разнообразие убывает. Эту закономерность Андре Львов назвал эволюцией утраченных функций, что не совсем точно. Ведь протисты, в отличие от прокариот, приобрели способность захватывать твердые частицы внутрь клетки (фаготрофное питание). Такой прокариотный фаготроф представляет гипотетического предка эвкариот.

Многоклеточные организмы, очевидно, произошли от некоторых протист. Их филогенетическая система может выглядеть как генеалогические деревья, вырастающие из кустарника протист. Здесь действует правило, получившее название «**бутылочное горло**», — происхождение большой группы организмов от популяции немногочисленных предков, эволюционирующих дивергентно. Поскольку разнообразие высших организмов обусловлено в первую очередь их морфологией, этот прорыв принято называть ароморфозом. Эволюция макроорганизмов послужила стереотипом для формирования представлений об эволюции вообще, а обнаруженные закономерности сочли универсальными для всего живого мира.

Я не буду касаться закономерностей усложнения или дифференциации, наблюдающихся в разных филогенетических стволах, которые нашли свое выражение в **параллелизме структур**. Многочисленные факты сходства, не связанные с общностью происхождения и генетическим родством, указывают на функциональную значимость таких признаков. Например, лишайники, несмотря на заведомое отсутствие интеграции, имитируют растения, создавая листоватые и кустистые формы. Таким образом, «жизненные формы», отброшенные филогенетиками на обочину, отражают принципиальные закономерности в системном подходе к развитию живого мира. Именно на них опирались биологи, обращавшие внимание на закономерность эволюции. Для прокариот преимущественное значение имеет гомеоморфная дифференциация. Любопытным примером закономерности в образовании структур могут служить цианобактериальные маты, у которых в разных условиях образуется сходная «парагистологическая» структура сообщества, продиктованная физическими условиями и химическими взаимодействиями.



Неудовлетворенность дарвинизмом сейчас основывается на необычайной сложности простейших организмов. Есть три философские альтернативы в понимании развития мира: «Либо царит неминуемая судьба и непреодолимая закономерность, либо милостивое провидение, либо безличный слепой случай» (Марк Аврелий. «Мысли»). Развитие на основе случайностей разработано Дарвином, провидение находится в области креационизма, а закономерное развитие получило название номогенеза. Я пытаюсь понять, почему усложнение, которое служит критерием последовательности происхождения, не привело к вытеснению примитивных пионерных форм? Ответ на этот вопрос я нашел в представлении об аддитивной эволюции в рамках геосферно-биосферной системы.

## Аддитивная эволюция

Последовательность происхождения видов и групп организмов предполагает наличие предшественников. Именно они создали систему взаимоотношений между собой и с окружающей средой, которая позволяла им существовать. Связи в этой системе достаточно жесткие, и деформация некоторых из них может привести к катастрофе и гибели системы. Вопрос состоит в том, к чему должен приспособиться новый организм, — к тому, что уже есть, или к тому, что может возникнуть в результате его появления? Ответ очевиден: новое должно соответствовать старому, иначе оно не может проявиться. Целеполагание вне реальности свойственно человеку на основе предвидения. В природе такие вещи невозможны. Следовательно, **в эволюции биоты условием возникновения нового служит продолжающееся действие старого.** Отсюда в большом масштабе явлений для жизни современной биоты

необходимо сохранение всего функционального набора организмов, которые соответствуют предшествующей эволюции, т.е. всей «лестнице существ». Таким образом, эволюция аддитивна: новое прибавляется к старому, а не заменяет его.

Закономерность аддитивной эволюции предполагает сохранение функциональной структуры. Геосферно-биосферная система, созданная прокариотами, составляет базу жизни, в которую встраивается и на которую наслаивается все последующее. Анализ прокариотной биосферы возможен на основе бактериальной палеонтологии, геохимии, современных биогеохимических циклов, а при актуалистическом подходе — на основе реликтовых сообществ микроорганизмов, развивающихся в местах, недоступных для более сложных, высших организмов. Функции прокариот достаточны, чтобы поддержать сопряженность биогеохимических циклов, которые составляют базу динамической биосферной системы.

Прежде чем перейти к исследованию прокариотной биосферы прошлого, обсудим трансформацию системы при появлении более сложных форм. Этот тип эволюции можно назвать **субститутивным**, поскольку внутри некоторых функциональных группировок действующие биотические агенты заменяются новыми. Наиболее масштабный пример — смена первичных продуцентов: от цианобактерий (преобладавших до неопротерозойской революции около 1 млрд лет назад) к фототрофным протистам, водорослям и, наконец, в силу 350 млн лет назад, к растительному покрову в субаэральных условиях. Полной замены нет, фототрофные протисты в океане не исключают цианобактерий, которые остаются важнейшими продуцентами в олиготрофном океане, но доминантность теряют. При этом возникают мощные обратные связи.

Так, покров высших растений стимулирует развитие грибов как важнейших деструкторов омертвевшей древесины (морт-массы). Эволюция животных с зоотрофным питанием отвлекает на себя небольшую часть потоков органического углерода и поэтому не может служить моделью в развитии геосферно-биосферной системы. Микробное население пищеварительного тракта животных играет существенную роль в их питании и представляет собой вложение целой трофической системы внутрь организма.

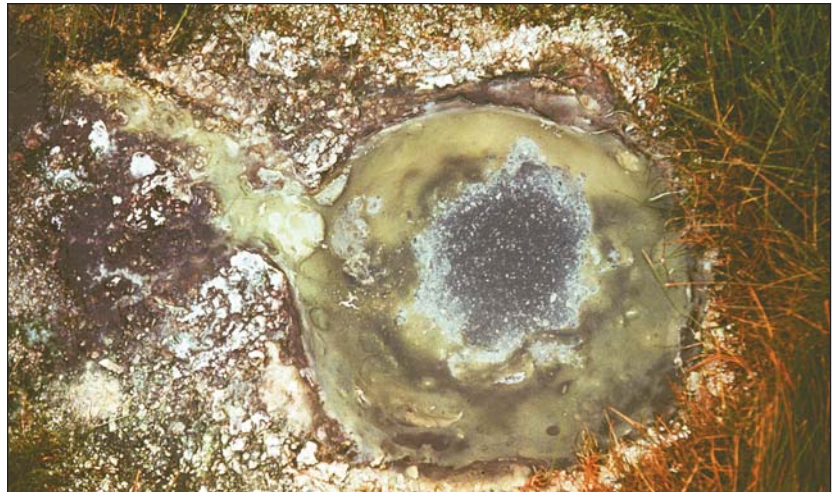
Происхождение видов и их существование рассматривают прежде всего с точки зрения их атуэкологии, акцентированной на возможности **адаптации** вида к меняющимся условиям. Этот подход особенно значим для организмов с длительным жизненным циклом, например лесных деревьев. Их устойчивость к неблагоприятным периодам определяет выживание. В жизни сообщества организмов с коротким циклом важнее **адаптивная динамика**, т.е. замена одного вида другим, как, например, при сукцессионной последовательности. Короткий жизненный цикл и экспоненциальный характер роста приводят к кажущимся пороговым переходам от одного состояния сообщества к другому. Адаптивная динамика предполагает некоторое изменение трофических отношений в сообществе и создает обратные связи, особенно сильные, если они касаются смены первичных продуцентов в автономном ландшафте или источника первичного субстрата, появившегося в подчиненном ландшафте в результате расселения, например в области седиментогенеза.

В хемотрофном микробном сообществе обратные трофические связи выражены особенно четко, вплоть до катаболической синтрофии, когда пара анаэробных организмов может развиваться только совместно из-за межвидового переноса водо-

рода, поскольку первая реакция дает достаточную энергию только в том случае, если второй организм удаляет продукт и суммарная реакция становится термодинамически разрешенной. Как правило, трофически взаимодействующие пары филогенетически удалены друг от друга (например, археи-метаногены и кластридии-броидильщики). Это говорит, что **сообщество создается не путем дивергенции, а рекрутированием извне.**

Микробное сообщество действует как целостность, обусловленная кооперативным действием разнородных организмов. Его длительное существование обеспечивает замкнутость циклов веществ в трофической сети. Оно автономно, если конечный продукт деструкции служит субстратом для первичного продуцента (например, цикл  $\text{CO}_2$  в сообществе с фотоавтотрофными продуцентами). При этом субстрат не должен давать остаточных продуктов, которые тормозят деятельность сообщества, как это происходит с железобактериями, накапливающими продукты своего обмена. Аналогичная картина наблюдается при биологически опосредованных реакциях химического выветривания, приводящих к образованию глин и изменению гидрологического режима в местообитании. Такими «чистыми» источниками энергии для фототрофов служат свет, а для автотрофных гидрогенотрофов — водород.

В.И.Вернадскому принадлежит постулат: в геологическом масштабе времени невозможно существование одного организма, а необходимо несколько функционально разнородных и взаимодополняющих, чтобы действовал биогеохимический цикл веществ. Потому-де представление о монофилетическом происхождении биоты из одного, как сейчас называют, прогенота, невозможно. Современные данные о взаимодействии микроорганизмов полностью с этим



Грифон гидротермального выхода на вулкане Узон, Камчатка. Цианобактерии *Mastigocladus* и *Phormidium laminosum* образуют кольцевой валик вокруг выхода. Белые пятна около вытекающего ручья — серобактерии.



Цианобактериальные маты и бугры, имитирующие пластовые строматолиты в лагуне Арабайской стрелки (Сиваш, Крым).

согласуются: **в геосферно-биосферной системе работает кооперативная система из функционально комплементарных организмов различного филогенетического происхождения.** Данные бактериальной палеонтологии подтверждают этот вывод для древнейших сообществ. Какие именно функции должен выполнять минимальный набор первичных организмов, предопределено трофической структурой систе-

мы. Значит, организмы включаются в эту систему на основе закономерностей соответственно требованиям большей системы.

### Биогеохимические циклы

В пределах географической оболочки большая система нашей планеты базируется на существовании биосферы, ведущий процесс которой — цикл





Выход горячих вулканических газов с серой, где развиваются ацидофильные бактерии, образующие серную кислоту (кальдера Головнина, о.Кунашир).

органического углерода. По изотопному составу углерода в древнейших осадочных породах принимается, что его источником послужила автотрофная фиксация углекислоты (как у цианобактерий). Анаэробные фототрофные бактерии, использующие иные пути усвоения  $\text{CO}_2$ , дали бы другой изотопный состав. С ассимиляцией углерода связан анаболизм других биогенных элементов, прежде всего азота и фосфора, которые находятся в биомассе в соотношении C:N:P 106:16:1. В сопряженной системе трех анаболических циклов (C:N:P) продуктом обмена оказывается кислород, который выбрасывается в количестве, эквивалентном ассимилированной углекислоте (молярное отношение  $\text{CO}_2 : \text{C}_{\text{орг}} : \text{O}_2 = 1 : 1 : 1$ ). Аэробное дыхание должно было бы замыкать циклы, полностью минерализуя мортмассу, но из-за неполного разложения (часть  $\text{C}_{\text{орг}}$  захоранивается в керогене, оставляя соответствующее количество  $\text{O}_2$ ) атмосфера насыщается кислородом. Азот вступает в цикл, катализируемый соответствующими группами организмов — аммонификаторов, нитрификаторов, денитрифика-

торов с пополняющей дефицит азота в системе группой азотфиксаторов. Цикл фосфора внутри сообщества пополняется за счет выщелачивания горных пород с захоронением фосфора в осадочных отложениях. Помимо аэробной деструкции происходит и анаэробное разложение в ходе брожения—метаногенеза и замыкается метанотрофами в цикле Зёнгена при отсутствии внешних доноров или же с использованием в качестве акцепторов электрона геосферных резервуаров железа и серы. Циклы железа и серы оставили громадные скопления в виде отложений окислов железа и сульфатов в океане. В настоящее время действует мощный цикл серы с сульфатредуцирующими бактериями как источник сероводорода, который окисляется пурпурными фототрофами или аэробными серобактериями. В целом **биогеохимическая машина планеты выглядит как сопряженные циклы, движущей силой которых служит цикл органического углерода.**

Реакции в циклах катализируются прокариотами, причем для отдельных реакций есть

специальные группы, обозначаемые как физиологические. В них входят организмы разного происхождения: например, среди сульфатредукторов есть протеобактерии, грамположительные клостридии, термофилы и археи. Все они очень разные и весьма специфичные по осуществляемой ими реакции. Такая специализация определяет кооперацию и в отдельном бактериальном сообществе, ограниченном топическими рамками, и во всей биосфере. Индивидуальная инициатива проявляется только в пределах функциональной группы.

Несмотря на геохимические изменения, происходящие за миллиарды лет биогеохимической сукцессии, бактериальная биосфера очень устойчива. По палеонтологическим данным, самый устойчивый период — мезопротерозой. Появление протист в неопротерозое и быстрое усложнение многоклеточных в фанерозое вызвали неустойчивость системы. Она стала более чувствительной к глобальным изменениям среды и климата. Избыточное биоразнообразие в этих масштабах времени и пространства отнюдь не способствовало стабильности, **усложнение организмов привело к ряду катастрофических вымираний**, которые привлекают внимание палеонтологов.

\* \* \*

Итак, основная биогеохимическая машина планеты катализируется прокариотами, которые составляют необходимое и достаточное функциональное разнообразие для ее работы. События последних нескольких сот миллионов лет, разумеется, изменили внешние формы этой машины. В первую очередь они носили механический характер создания скелета, с одной стороны, и зоотрофии как способа питания — с другой. В результате знание природоведческой микробиологии — так я обозначил биосферные аспекты деятельно-



Автор во время экспедиции на оз.Сиваш (изучение экстремально-галофильных цианобактериальных матов — аналогов строматолитов) и (справа) на экваториальном оз.Магади (отбор проб всплывшего цианобактериального сообщества).

сти микробов в природе — оказывается базовым. При этом вся пирамида усложнения живых существ опирается на биогеохимические циклы, катализируемые кооперативной системой микроорганизмов. За последнее столетие эта система изучена достаточно хорошо, и, несмотря на заведомую неполноту знаний о разнообразии микроорганизмов, она дала целостную теорию, обладающую прогностическими свойствами. Филогенети-

ческая система идентификации, способная различить примерно на порядок больше генетических клонов, чем известно узаконенных видов бактерий, пока не дает возможности эвристического построения в биосферном масштабе.

Изучение этой области эволюции стало возможным много лет спустя после работ Дарвина и таких его последователей, как Геккель. Дарвин предложил теорию происхождения видов,

а его последователи попытались сделать это построение универсальным принципом развития на основе конкуренции и вымирания неприспособленных. Однако в иных масштабах эволюция основывается не на конкуренции видов, а на взаимодействии в кооперативном сообществе. Значит, в большой системе она лежит вне дарвиновской области происхождения индивидуальных компонентов, а в анализе развития системы. ■

## Работы Г.А.Заварзина, опубликованные в журнале «Природа»

1. Бактерии на вулканах (1973. №7. С.66—71).
2. Пространство логических возможностей в многообразии бактерий и их физиологии (1979. №6. С.9—19).
3. Циано-бактериальные сообщества — колодец в прошлое (в соавторстве с И.Н.Крыловым. 1983. №3. С.59—68).
4. Новые метанобразующие бактерии (в соавторстве с Т.Н.Жилиной. 1985. №7. С.103—105).
5. Биогаз и малая энергетика (1987. №1. С.66—78).
6. Биосфера и климат глазами биологов (в соавторстве с У.Кларком. 1987. №6. С.65—77).
7. Заповедники для микробов (1990. №2. С.39—45).
8. Протеобактерии: экологический принцип в систематике прокариот (1990. №5. С.8—17).
9. Микробный цикл метана в холодных условиях (1995. №6. С.3—14).
10. Анти-Рынок в природе (1995. №3. С.46—60).
11. Первые три миллиарда лет жизни: от прокариот к эвкариотам (в соавторстве с В.Н.Сергеевым и Э.Х.Ноллом. 1996. №6. С.54—67).
12. Индивидуализм и системный анализ — два подхода к эволюции (1999. №1. С.23—34).
13. Содовые озера — природная модель древнейшей биосферы континентов (в соавторстве с Т.Н.Жилиной. 2000. №2. С.45—55).
14. Роль комбинаторных событий в развитии биоразнообразия (2002. №1. С.12—19).



# За краем таблицы Менделеева

В.А.Щеголев

Статья, посвященная проблеме сверхтяжелых химических элементов, была опубликована в журнале «Природа» 25 лет назад [1]. Что изменилось за это время? Как далеко удалось продвинуться за край таблицы Менделеева? Какие новые идеи и подходы появились у теоретиков и экспериментаторов? Чтобы более полно ответить на эти вопросы, обратимся к краткой истории искусственного синтеза химических элементов и описанию последних достижений.

Эпоха синтеза новых химических элементов в заурановой области началась в 40-х годах прошлого века. Работы в этом направлении привели к созданию ядерной энергетики, без которой немыслимо будущее человечества. Исследования по ядерной физике и химии актуальны и в настоящее время, поскольку сама природа атомного ядра и процессов, происходящих в нем, ясны не до конца. Каждое новое открытие может существенно повлиять на наше представление об ядре и породить совершенно неожиданные применения полученных знаний.

© В.А.Щеголев



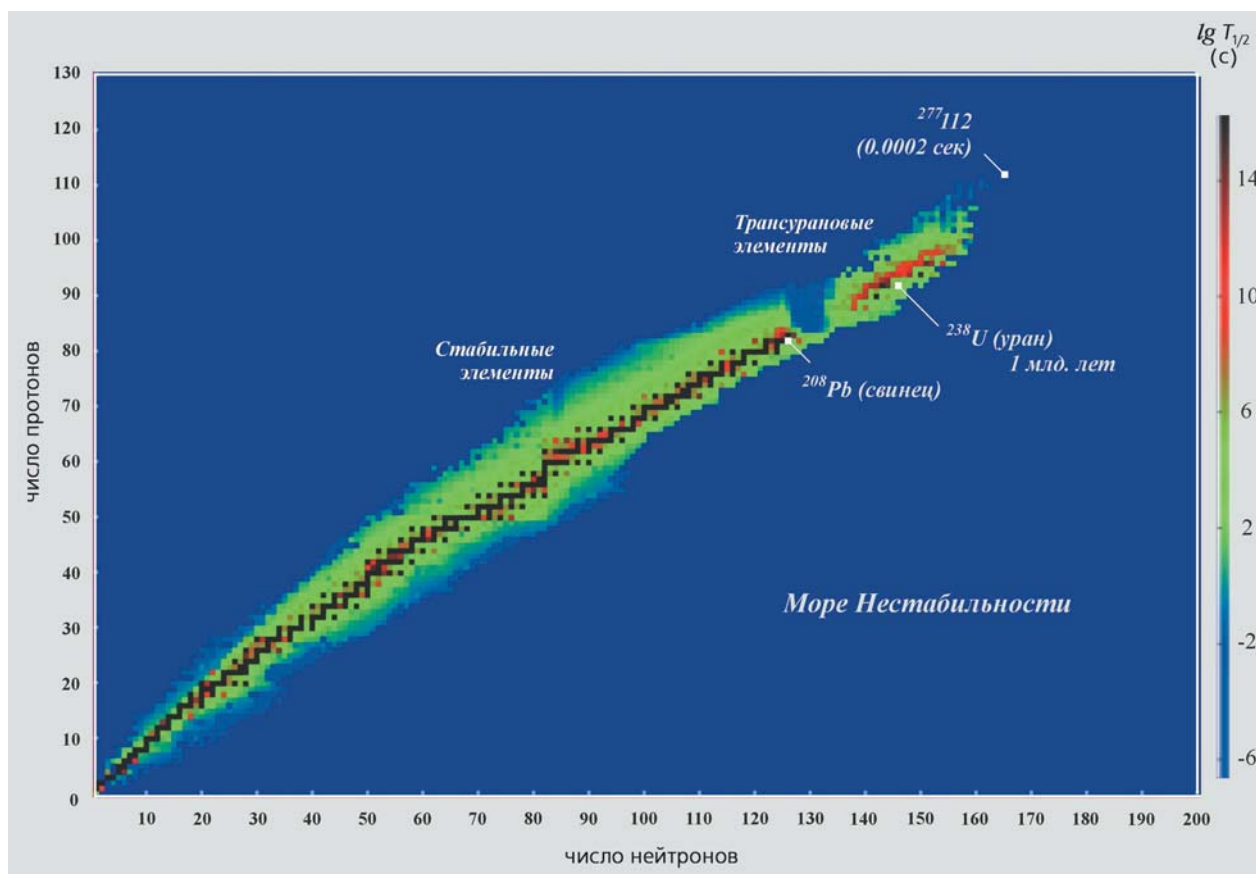
**Владислав Александрович Щеголев**, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории ядерных реакций им.Г.Н.Флерова Объединенного института ядерных исследований (Дубна). Область научных интересов — физика тяжелых ионов.

## Что предсказывала старая теория

Окружающий нас мир состоит из 92 элементов — от водорода (атомный номер  $Z=1$ ) до урана ( $Z=92$ ), которые представлены 287 стабильными изотопами. Они как бы образуют узкий материк в море нестабильных изотопов, испытывающих различные виды радиоактивного распада. По мере удаления от берегов материка время жизни радиоактивных изотопов уменьшается до того предела, где ядро — совокупность определенного числа протонов и нейтронов — уже не может существовать как нечто целое. В рамках этой границы должно оказаться около 5000 ра-

диоактивных ядер. Среди них наибольший интерес представляют легкие ядра с большим избытком нейтронов (так называемые нейтронные капли) и сверхтяжелые элементы, для которых теория предсказывает появление областей относительно стабильных ядер (островов стабильности). Вот к этим-то таинственным островам и стремились исследователи разных стран в течение последних 40 лет.

Изучение свойств различных ядер показало, что энергия  $E$ , сосредоточенная в ядре, возрастает по мере увеличения его массы ( $A$  — массовое число). Но на плавной с первого взгляда зависимости  $E=f(A)$  были обнаружены нерегулярности при оп-



Карта атомных ядер. На временной шкале справа цветом обозначены периоды полураспада указанных на карте ядер.

ределенных числа протонов или нейтронов, составляющих ядро. Эти числа — 2, 8, 14, 20, 28, 50, 82, 126 — были названы магическими. Наиболее наглядно магические числа проявляются после специального преобразования величин, которое выполнил А.Валстра [2] на основе экспериментальных данных.

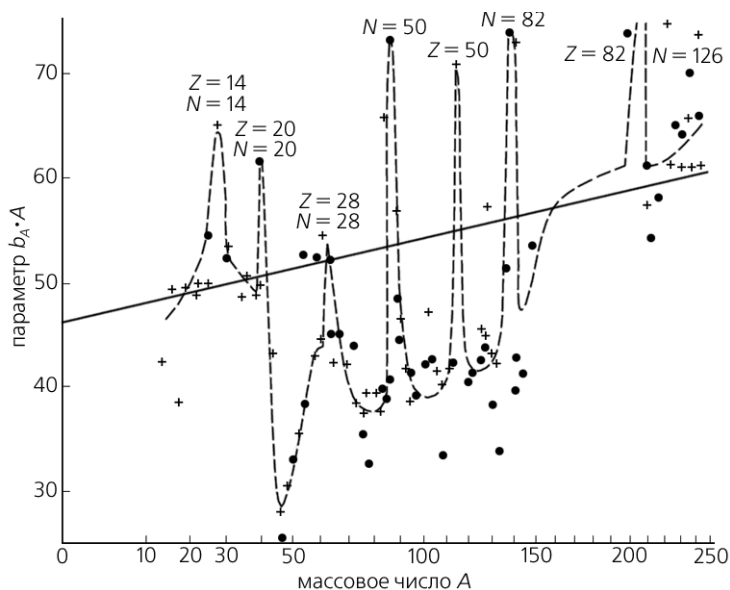
Не обратить внимание на столь очевидную особенность в зависимости  $E=f(A)$  физики не могли, но понять ее причину было нелегко. В 1949 г. М.Гепперт-Майер и Г.Йенсен предложили оболочечную модель ядра, объяснившую магические числа и оказавшуюся весьма плодотворной.

В основе оболочечной модели [3] лежит представление, что нуклоны в ядре движутся подобно электронам в атоме, движущимся вокруг силового цент-

ра — положительно заряженного ядра. Правда, здесь скрыта внутренняя противоречивость: на самом деле в ядре подобного силового центра нет. Однако коллективное движение нуклонов можно формализовать таким образом, будто он есть. Тогда нуклоны можно сгруппировать на определенных энергетических уровнях с учетом спин-орбитальной связи. В полученном, согласно модели, распределении нуклонов по энергетическим уровням обнаружили сгущения уровней (оболочки), границы которых соответствовали числам нуклонов: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, 184. Совпадение с рядом магических чисел, известных из эксперимента, оказалось удивительно точным (выпадало только число 14). Это и обусловило успех предложенной оболочечной модели, и в дальнейшем тео-

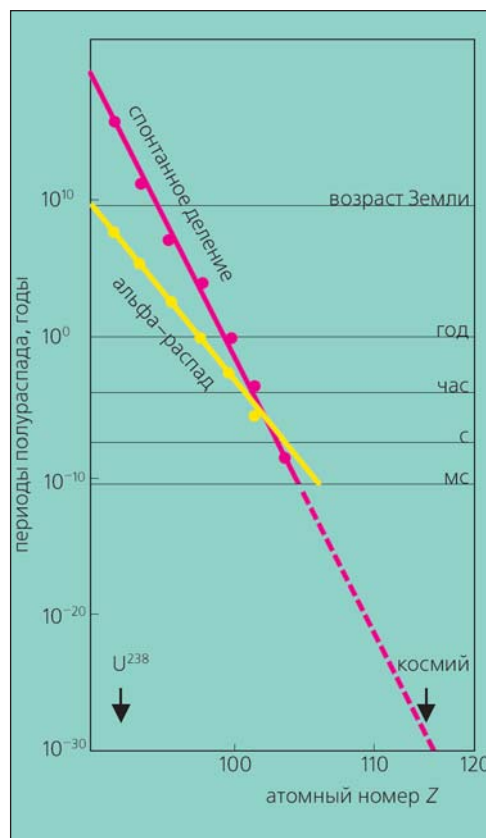
ретическая мысль развивалась именно в рамках таких представлений, несмотря на их внутреннюю противоречивость.

Интересно отметить, что формулу для ряда магических чисел можно получить из самых общих соображений, не имеющих конкретного физического содержания. Эта формула —  $N=1/3(n^3+5n)$ , где  $n$  последовательно пробегает числа натурального ряда — дает  $N = 2, 6, 14, 28, 50, 82, 126, 184...$ ; здесь отсутствуют только числа 8 и 20. Сама же формула выводится при решении комбинаторной задачи: *каково максимальное число элементов, составляющих систему, если каждый элемент представляет собой неповторимое сочетание заданного числа свойств, равного  $n$*  [4]. Видимо, за результатом, полученным чисто абстрактным путем,



Проявление магических чисел в массах ядер. Параметр  $b_A$  характеризует энергию связи в ядре таким образом, что отклонение от плавной зависимости  $E=f(A)$  выражается наиболее явно.

Время жизни тяжелых ядер при альфа-распаде и спонтанном делении.



угадывается некий общий закон. Но как наполнить его конкретным физическим содержанием? Подобные формулы используются в кристаллографии, и здесь можно искать аналогии. Но можно ли представить независимое сосуществование в ядре протонного и нейтронного «кристаллов»? И самое главное — что это за «свойства», число которых  $n$  возрастает по мере увеличения числа нуклонов в ядре?

Следует отметить, что правильное предсказание магических чисел получается в оболочечной модели не автоматически. Оно в существенной мере зависит от того, правильно ли выбран потенциал ядерных сил, действующих между нуклонами, является ли ядро сферическим или деформированным, возбуждено ли оно или находится в «холодном» (основном) состоянии. В определении названных факторов и их роли те-

ория всегда ориентируется на эксперимент и в какой-то мере остается подгонкой под уже известный результат, но в то же время она делает предсказания в еще не изученной области. Так что в вопросе о правильности теории решающее слово за экспериментом, подтверждающим или опровергающим ее предсказания.

Исследования в области сверхтяжелых химических элементов (и теоретические, и экспериментальные) особенно затруднены из-за того, что тяжелые ядра сами по себе довольно неустойчивы по отношению к делению — как вынужденному, так и к спонтанному. После того как О.Ган и Ф.Штрассман в 1938 г. открыли вынужденное деление урана, а Г.Н.Флеров и К.А.Петржак в 1940 г. — спонтанное деление урана, в течение нескольких десятилетий в ядерной физике господствовала модель жидкой капли, разработан-

ная Я.И.Френкелем, Н.Бором и Дж.Уилером. В ней ядро представлялось аморфным телом, которое было стабильно благодаря превосходству сил поверхностного натяжения над силами кулоновского отталкивания, действующими между входящими в ядро протонами. Чтобы произошло деление ядра, ему необходимо сообщить определенную энергию, называемую барьером деления. Стабильность ядра, а точнее его время жизни (или период полураспада  $T_{1/2}$ ), зависит от параметра  $Z^2/A$  ( $Z$  — число протонов,  $A$  — общее число нуклонов), и граница существования атомных ядер как таковых была определена при  $Z^2/A = 46$ , когда барьер деления исчезал. Гипотетический химический элемент с таким  $Z^2/A$ , названный заранее космием, должен был жить не более  $10^{-21}$ – $10^{-20}$  с. Соответственно  $T_{1/2}$ , например, для 102-го элемента оценивалось в  $10^{-6}$  с.



## А что предсказывает новая?

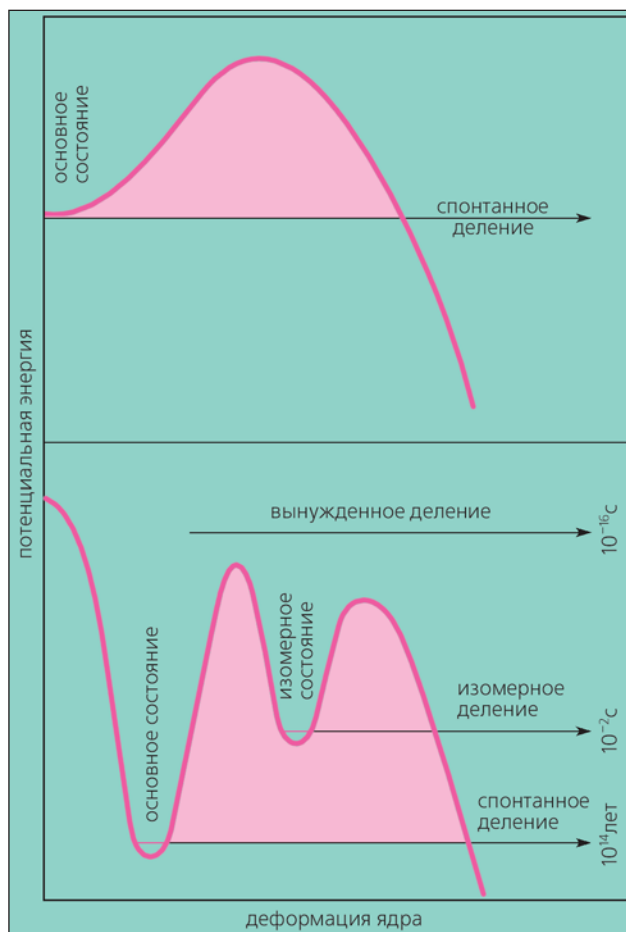
Начиная с 60-х годов новые экспериментальные данные поставили под сомнение правомерность классической модели жидкой капли. В 1962 г. в Лаборатории ядерных реакций в Дубне было сделано сенсационное открытие спонтанно делящихся изомеров, впоследствии подтвержденное в других лабораториях мира при синтезе 39 подобных ядер. Было обнаружено, что у тяжелых ядер могут быть два значения  $T_{1/2}$  по отношению к спонтанному делению, а этот факт в модель жидкой капли никак не вписывался. Стало ясно, что в представление об ядре как аморфном теле нужно вводить структурный фактор, т.е. вносить элементы кристалличности. Все это дало пищу для нового развития теории.

Прогресс был достигнут прежде всего при описании процессов в деформированных ядрах. В работах В.М.Струтинского [5], В.В.Пашкевича была выдвинута и разработана концепция двугорбого барьера деления, что позволило говорить о наличии не только одного, но и нескольких устойчивых состояний ядра при различных его деформациях. Это объясняло существование спонтанно делящихся изомеров. Полная энергия ядра стала представляться в виде суммы  $E_{\text{tot}}=E_{\text{id}}+\Delta E_{\text{sb}}$ , состоящей из макроскопической (жидкокапельной) энергии  $E_{\text{id}}$  и микроскопической поправки  $\Delta E_{\text{sb}}$ , которая связана с наличием ядерных оболочек и эффектом парных корреляций нуклонов. В результате расчетов по новой макромикроскопической модели были обнаружены регулярные оболочечные явления в деформированных ядрах, благодаря чему существенно повысилась точность определения масс и форм последних. Вопреки широко распространенному представлению об ослаблении влияния оболочек по мере деформирования ядра оказалось, что в сильно деформированном

ядре происходит существенное перераспределение нуклонных состояний. С ростом деформации оболочечные эффекты не исчезают, а изменяются, внося по-прежнему значительную коррекцию в потенциальную энергию ядра. Расчеты, выполненные в этой модели, объяснили целый ряд экспериментальных фактов: изомерию формы актинидных ядер, постоянство высот их барьеров деления, резкие изменения вероятности деления у ядер с числом нейтронов, близким к 152, и многие другие закономерности, которые не могли найти объяснения в рамках классической модели жидкой капли. На более значительный вклад в новую теорию внесли теоретики В.М.Струтинский, В.Святецкий,

В.Майерс, С.Нильсен, А.Собичевский, В.В.Пашкевич и др. [6].

Возникшие новые представления о природе тяжелых ядер породили и новые теоретические предсказания о существовании островов стабильности в области сверхтяжелых элементов и свойствах конкретных ядер. В 1966 г. была опубликована теоретическая работа А.Собичевского, Ф.А.Гареева и Б.Н.Калинкина [7], в которой при расчетах использовался ядерный потенциал Хартри—Фока—Боголюбова (как наиболее реалистичный при описании ядерных явлений) и было предсказано существование для протонов магического числа  $Z=114$ . Соответственно в данной области ядер следовало ожидать и наличия острова ста-



Формы энергетических барьеров деления ядра в старом (вверху) и новом (внизу) представлении.

бильности. Это предсказание возбудило интерес многих экспериментаторов, потому что названная гипотетическая область стабильности была в принципе доступна при имеющихся технических возможностях, хотя сами эксперименты представлялись исключительно трудными. Но цена положительного результата была очень высока, поскольку на нем по существу проверялась вся современная концепция ядернофизических представлений о природе тяжелых ядер.

### Чем были заняты экспериментаторы

Новые трансурановые элементы на первом этапе синтезировали в основном с помощью мощных нейтронных потоков в ядерных реакторах и в ядерных взрывах. Таким способом в ядре-мишени с числом протонов  $Z$  создавался избыток нейтронов. При использовании высокопоточных реакторов синтез происходил в результате последовательных захватов нейтронов ядром-мишенью. Пересыщенное нейтронами ядро испытывает бета-распад, при котором излишний нейтрон превращается в протон и получается ядро нового элемента с  $Z+1$ . В свою очередь это новое ядро снова захватывает лишний нейтрон и т.д. При ядерных же взрывах в ядро-мишень практически моментально вгоняется сразу несколько нейтронов, и затем  $Z$  полученного тяжелого ядра увеличивается в результате последовательных бета-распадов. В ряде случаев для синтеза использовались ускорители легких частиц (протонов, дейтронов, ядер гелия), когда в ядро-мишень сразу вгонялись один или два протона. Таким образом американские исследователи под руководством Г.Сиборга открыли девять трансурановых элементов — от нептуния  $Np$  ( $Z=93$ ) до менделевия  $Md$  ( $Z=101$ ). В настоящее время целый ряд подоб-

ных элементов можно получать в весовых количествах. Например,  $Pu-239$  ( $T_{1/2}=24110$  лет) накоплен в количестве сотен тонн, а  $Cf-252$  ( $T_{1/2}=2,6$  года) «добывается» десятками граммов.

Но к середине 50-х годов прошлого века указанные методы синтеза новых элементов исчерпали себя. Причина — в резко уменьшающемся их времени жизни по мере возрастания  $Z$ . Использование высокопоточных реакторов было ограничено конкуренцией между процессом последовательного захвата нейтронов и процессом радиоактивного распада образованного ядра: новое ядро успевало распастись, не дождавшись следующего нейтрона. В ядерных взрывах удалось продвинуться лишь до  $Fm-257$  ( $T_{1/2}=100$  дней). Препятствием оказался очень короткоживущий, испытывающий спонтанное деление  $Fm-258$  ( $T_{1/2}=360$  мкс). Не удавалось накопить необходимого количества исходного вещества, которое могло быть использовано в качестве мишени при синтезе следующего элемента с большим  $Z$ . Достаточно сказать, что при открытии менделевия в качестве мишени использовалось всего  $10^9$  атомов эйнштейния  $Es-253$  и было получено лишь девять атомов  $Md-256$ , по которым и идентифицировали новый элемент. Это был предел, и нужно было изыскивать новые, более эффективные методы синтеза.

Выход был найден в использовании ядерных реакций на тяжелых ионах. Взяв в качестве бомбардирующих частиц атомы элементов с  $Z>2$ , т.е. тяжелее гелия, а именно углерод ( $Z=6$ ), неон ( $Z=10$ ), аргон ( $Z=18$ ) и т.д., можно было увеличить число протонов в ядре-мишени скачком и таким способом получать новые элементы с  $Z>101$ . Правда, требовалось создать ускорители нового типа и соответственно мощные источники многозарядных ионов. В середине 50-х годов эта работа была начата и завершилась созданием линейного ускорителя NILAC в Беркли

(США, 1957) и циклотрона У-300 в Дубне (1959). В 1978 г. к этим установкам присоединился UNILAC в Дармштадте (Германия). В перечисленных трех научных центрах — Национальной лаборатории им.Э.Лоуренса (Беркли), Лаборатории ядерных реакций им.Г.Н.Флерова (ЛЯР), Обществе тяжелых ионов — и были развернуты исследования по синтезу новых элементов в реакциях на тяжелых ионах, проходившие как в соперничестве, так и в сотрудничестве.

Новая методология синтеза вызвала к жизни новые экспериментальные подходы и техническое оснащение. Очень схематично процесс синтеза и идентификации неизвестного ранее элемента выглядел следующим образом. При бомбардировке мишени интенсивным пучком ускоренных тяжелых ионов в определенной доле случаев ядро-мишень и бомбардирующая частица полностью сливаются и образуют ядро нового элемента. За счет большого импульса, внешнего частицей, эти ядра выбиваются из мишени; их отделяют различными способами от исходного пучка, а далее — идентифицируют по различным физическим характеристикам (чаще всего по характеристическим свойствам радиоактивного распада) или по химическим свойствам с использованием специальной аппаратуры. За прошедшие десятилетия в практике физического эксперимента были разработаны самые разнообразные методы идентификации новых элементов, рекордные по своей чувствительности и избирательности. Они включали экспрессный механический, газовый и электромагнитный транспорт продуктов ядерных реакций от мишени к детекторным системам, быстрый масс-спектрометрический анализ, методы газовой химии и др. Были сконструированы оригинальные полупроводниковые и твердотельные низкофоновые детекторные системы. Потребовалось создать многофункциональные экспери-

ментальные установки, позволявшие идентифицировать эффект по многим ядерно-физическим параметрам. Огромный объем работы был проделан и по строительству и развитию ускорителей с целью увеличения интенсивностей пучков ионов, их энергии и расширения ассортимента ускоряемых ионов вплоть до урана.

### Скачки с препятствиями

Сам процесс синтеза в реакциях с тяжелыми ионами связан с немалыми трудностями, для преодоления которых исследователям приходится проявлять высокое экспериментальное мастерство и изобретательность. Эти трудности сводятся к трем основным.

Первая. Вероятность образования атомов нового элемента очень мала и вдобавок резко убывает по мере увеличения атомного номера синтезируемо-

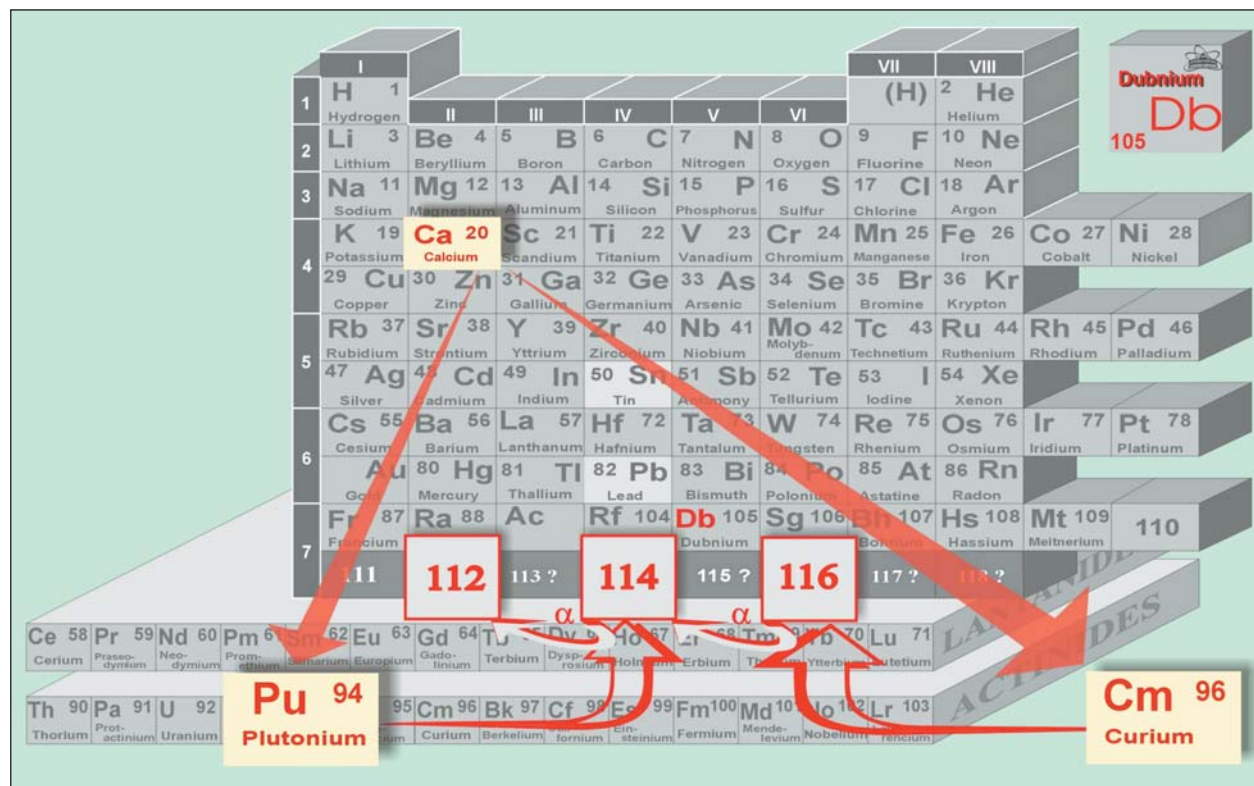
го элемента. Например, если при имеющихся интенсивностях пучков бомбардирующих частиц число синтезированных атомов 102-го элемента составляет несколько десятков за 10–12 ч работы ускорителя, то в случае 114-го элемента это количество — один–два атома за несколько месяцев непрерывной работы (о последнем эксперименте будет рассказано ниже).

Вторая. При соприкосновении ядер помимо реакции полного слияния, приводящей к образованию искомого составного ядра, в подавляющем числе случаев (в  $10^8$ – $10^{12}$  раз чаще) происходит его развал (деление на две части) или образование фрагментов с меньшим атомным номером. Создается огромный фон разнообразных радиоактивных излучений, из которых выделить излучение искомого продукта и по нему опознать ядро нового элемента чрезвычайно трудно. Для преодоления этой трудности разрабатываются

очень чувствительные экспериментальные методики. Можно сказать, что обнаружение иголки в стоге сена — смехотворно простая задача по сравнению с поиском атома нового элемента.

Третья. Известно, что по мере увеличения атомного номера трансурановых элементов их время жизни (период полураспада  $T_{1/2}$ ) резко убывает. Поэтому требуются именно экспрессные методики. Но дело осложняется тем, что теоретические предсказания времен жизни для новых ядер могут колебаться в пределах от микросекунд до десятков минут, а это определяет, удачным ли будет выбор соответствующих методик.

В поисках оптимальных решений экспериментаторы ищут наиболее эффективные подходы, которые в сущности сводятся к решению двух проблем. Во-первых, к поиску таких комбинаций мишень—частица, при которых энергия возбуждения, вносимая в составное ядро и нагрее-



Синтез сверхтяжелых элементов в реакциях  ${}_{94}\text{Pu}^{244} + {}_{20}\text{Ca}^{48} = 114^{288}$  и  ${}_{96}\text{Cm}^{248} + {}_{20}\text{Ca}^{48} = 116^{292}$ . Для синтезированных изотопов наблюдался последовательный альфа-распад от  $116^{292}$  через  $114^{288}$  к  $112^{284}$ .



вающая его, была бы минимально возможной и соответственно выход искомого продукта был бы максимальным. Во-вторых, к выбору таких экспериментальных средств, которые позволили бы надежно выделить искомый эффект из огромного фона побочных продуктов ядерных реакций.

При синтезе элементов с  $Z=101-106$ , проведенном в Дубне и в Беркли в 1960—1970 гг., предпочтение отдавалось наиболее асимметричным реакциям, в которых мишень имела максимально возможное значение  $Z$ , а частица соответствующее малое  $Z$ . В этих случаях синтезированное составное ядро оказывалось наименее нагретым, и вероятность его выживания была достаточно высока. Например, из двух реакций  ${}_{92}\text{U}^{238}+{}_6\text{C}^{12}\rightarrow{}_{98}\text{Cf}^{250*}$  и  ${}_{94}\text{Pu}^{241}+{}_4\text{Be}^9\rightarrow{}_{98}\text{Cf}^{250*}$ , приводящих к одному и тому же составному ядру  ${}_{98}\text{Cf}^{250*}$ , вторая была предпочтительней.

Конечно, исследователи той и другой лаборатории при синтезе конкретного элемента исходили из своих технических возможностей. Но основные усилия

были затрачены на получение в высокопоточных реакторах весовых количеств именно тяжелых изотопов трансурановых элементов от Pu до Fm, которые использовались в качестве материала мишени. Роль бомбардирующих частиц играли ионы от бора ( $Z=5$ ) до магния ( $Z=12$ ). Однако на этом пути удалось продвигаться только до элемента 106.

### Лучше холодно, чем жарко

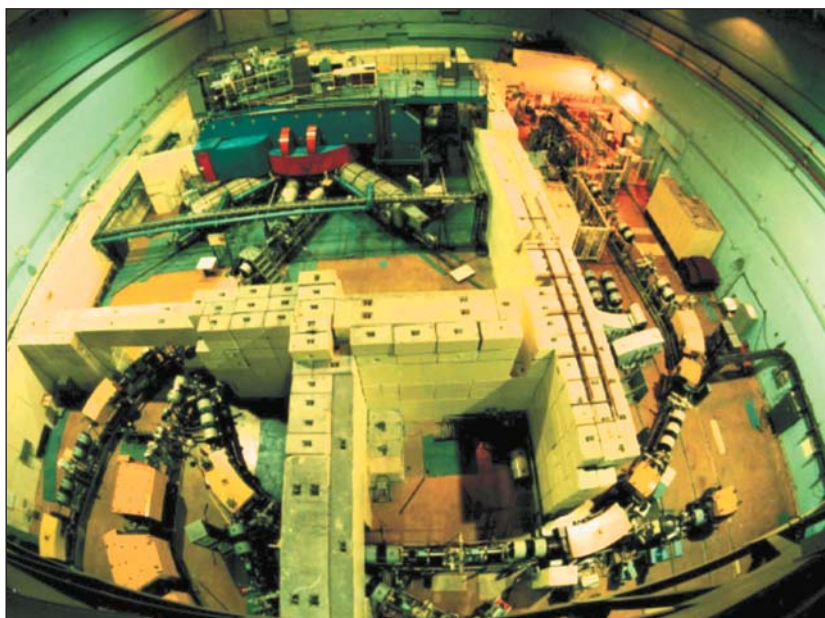
В начале 70-х годов возникла идея «холодного» синтеза, когда при выборе комбинации мишень—частица предпочитали мишени с меньшим  $Z$ , а частицы — с большим  $Z$ . Так, комбинация  $82+20=102$  («холодный» синтез) оказалась лучше пары  $92+10=102$  («горячий» синтез). Если же в качестве ядра-мишени и бомбардирующей частицы использовать магические ядра, то составное ядро, получающееся при их слиянии, оказывается почти холодным. Соответственно резко возрастает выживаемость составного ядра. Эксперимент, впервые проведенный

в ЛЯР, выявил, что в реакции  ${}^{208}\text{Pb}_{82}+{}^{48}\text{Ca}_{20}\rightarrow 102$  выход 102-го элемента оказался на порядок выше, чем в реакциях «горячего» синтеза [8].

Реакции «холодного» синтеза существенно изменили положение дел в проблеме получения новых элементов. Поскольку в качестве материала мишени стали использоваться стабильные изотопы  ${}^{204-208}\text{Pb}$  или  ${}^{209}\text{Bi}$ , экспериментальные работы в области синтеза тяжелых ядер стали доступны широкому кругу исследователей. Теперь уже достижения ускорительной техники в получении интенсивных пучков тяжелых ионов ( $A>50$ ) определяли чувствительность экспериментов. Вместе с тем в реакциях слияния ядер  ${}^{208}\text{Pb}$  с ядрами наиболее тяжелых стабильных изотопов, выступающих в качестве бомбардирующих частиц, рождающиеся составные ядра обладают сильным нейтронным дефицитом и поэтому очень малым временем жизни. Необходимость получать интенсивные пучки тяжелых ионов с  $A>50$  и использовать экспрессные методы сепарации и детектирования новых ядер ( $T_{1/2}\approx 1$  мкс) кардинально повлияла на постановку экспериментов по синтезу новых элементов.

В 80-х годах в Обществе тяжелых ионов создали ускоритель нового поколения UNILAC и установку SHIP, позволяющую выделять на лету за время  $\approx 10$  мкс атомы новых элементов от громадного фона, порождаемого побочными продуктами реакций неполного слияния. В Лаборатории ядерных реакций были созданы аналогичные быстродействующие установки: газонаполненный масс-сепаратор ГНС и электростатический сепаратор ядер ВАСИЛИСА, а также сооружен новый ускоритель тяжелых ионов У-400, значительно расширивший возможности эксперимента как по интенсивности пучков, так и по ассортименту ускоряемых ионов.

В итоге почти 20-летней работы в обоих центрах в реакци-



Общий вид ускорителя У-400, на котором проводились эксперименты по синтезу сверхтяжелых элементов.



ях «холодного» синтеза при бомбардировке ядер  $^{208}\text{Pb}$  или  $^{209}\text{Bi}$  ионами от  $^{54}\text{Cr}$  до  $^{70}\text{Zn}$  были синтезированы шесть наиболее тяжелых элементов с  $Z=107-112$ . Важным результатом стало установление факта, что времена жизни изотопов этих элементов значительно превышают значения, ожидавшиеся из предсказаний прежней теории. Это придавало все больше уверенности, что в области указанных элементов мы будто находимся на отмени, ведущей к острову стабильности вблизи 114-го элемента. Также были обнаружены замкнутые оболочки в деформированных ядрах с  $Z=108$  и  $N=162$ , что проявилось в увеличении их стабильности. Создавались предпосылки для начала штурма самого острова стабильности — синтеза 114-го элемента.

## Прорыв к острову стабильности

Задача эта была исключительно сложной, на грани возможного и доступного. В предстоящем эксперименте необходимо было реализовать самые последние достижения техники ядерно-физического эксперимента, использовать очень редкие материалы, обеспечить стабильную и надежную работу ускорителя и регистрирующей аппаратуры в течение нескольких месяцев непрерывной работы. Естественно, усилиями только одного коллектива Лаборатории ядерных реакций эта работа не могла быть выполнена, особенно при скудном финансировании науки в целом в 90-е годы. Важную роль здесь сыграло международное сотрудничество. Кроме ЛЯР, осуществлявшей главную роль, в работе участвовали в той или иной степени американская Ливерморская национальная лаборатория (LLNL) и немецкое Общество тяжелых ионов, а также французская Национальная лаборатория GANIL (Кан), японский ядерный центр RIKEN (Токио).

Существенную помощь оказал Минатом РФ. Возглавил эксперимент научный руководитель Лаборатории ядерных реакций член-корреспондент РАН Ю.Ц.Оганесян.

Сам синтез 114-го элемента было решено осуществить в реакции  $^{244}\text{Pu}+^{48}\text{Ca}\rightarrow^{292}114$ : в ней после испарения из составного ядра трех или четырех нейтронов должны были образоваться изотопы  $^{289}114$  и  $^{288}114$ , которые предстояло идентифицировать по соответствующим цепочкам радиоактивного распада. Подготовка к этому эксперименту (пока решались сложные технические проблемы) заняла пять лет.

Для проведения эксперимента необходимо было использовать в качестве материала мишени  $^{244}\text{Pu}$ , а в качестве ионного пучка  $^{48}\text{Ca}$ . Самые тяжелые изотопы этих элементов понадобились потому, что они обладают наибольшим избытком нейтронов в своих ядрах. Только при этом условии можно было рассчитывать получить хотя бы несколько атомов изотопа 114-го элемента. Но  $^{244}\text{Pu}$  — очень редкий и дорогой изотоп. Он накапливается в атомных реакторах десятилетиями, и во всем мире его не более нескольких сотен миллиграмм. Этот изотоп был предоставлен нам американскими участниками эксперимента из LLNL. Для  $^{48}\text{Ca}$  ситуация была не проще. В естественной смеси изотопов кальция его содержание составляет всего 0.18%, а процесс обогащения — сложный и дорогостоящий. В России методы разделения и обогащения изотопов наиболее развиты. При поддержке Минатома на предприятии в Екатеринбурге было наработано это уникальное вещество.

Для получения достаточно интенсивного пучка ионов  $^{48}\text{Ca}$  потребовалась разработка нового циклотронного источника ионов с экономным расходом рабочего вещества. В конце 80-х годов французские ученые предложили конструкцию источника, работающего на прин-

ципе электронного циклотронного резонанса. Он стал широко применяться в западных научных центрах. Взяв за основу этот принцип, в ЛЯР в течение года разработали собственный вариант, который превосходил известные западные образцы по получению высокозарядных ионов кальция и удовлетворял требованиям предстоящего эксперимента как по интенсивности пучка ускоренных ионов, так и по рабочему расходу этого уникального вещества.

Поскольку ожидаемый выход 114-го элемента оценивался в один-два атома за несколько месяцев непрерывной работы, необходимо было создать регистрирующую аппаратуру с рекордной эффективностью и надежностью. Был сделан специальный электромагнитный сепаратор с газовым наполнением, который позволял отсеивать пучок ионов, разделять на лету многообразные продукты ядерных реакций, выбиваемые из плутониевой мишени, и направлять атомы именно 114-го элемента в детектор. Измерительная аппаратура была также разработана в ЛЯР. Вся система успешно зарекомендовала себя при синтезе 110-го элемента.

Схема регистрации единичного акта радиоактивного распада ядра 114-го элемента выглядела следующим образом. Если принять, что гипотеза о существовании острова стабильности в области сверхтяжелых элементов справедлива, то ядро 114-го элемента с массой 288 должно испытывать альфа-распад, превращаясь в ядро 112-го элемента. Последнее через альфа-распад становится ядром 110-го, которое уже испытывает спонтанное деление. Таким образом, мы должны были наблюдать новое радиоактивное семейство с весьма необычными свойствами. Именно так открывались радиоактивные ряды еще в пионерских работах Марии Кюри-Склодовской начала XX в.

Практически в наших экспериментах эта схема была вопло-

щена так. Регистрирующая система представляла собой «колодец» со стенками, собранными из восьми полупроводниковых детекторов, окружающих центральный детектор. Общая площадь детектирующей поверхности составила 50 см<sup>2</sup>. Сигналы с установки дают возможность регистрировать сам факт попадания в нее синтезированного ядра и координаты места попадания, энергию альфа-частиц или осколков спонтанного деления, испущенных при распаде именно этого ядра, а также его «дочек», и интервалы времени между зафиксированными событиями распада. Таким образом, устанавливается генетическая связь между изначальным материнским ядром, полученным непосредственно в ядерной реакции, и продуктами его распада. Была разработана специальная компьютерная программа, выделявшая по 16 параметрам события, соответствующие именно принятой схеме, и исключавшая

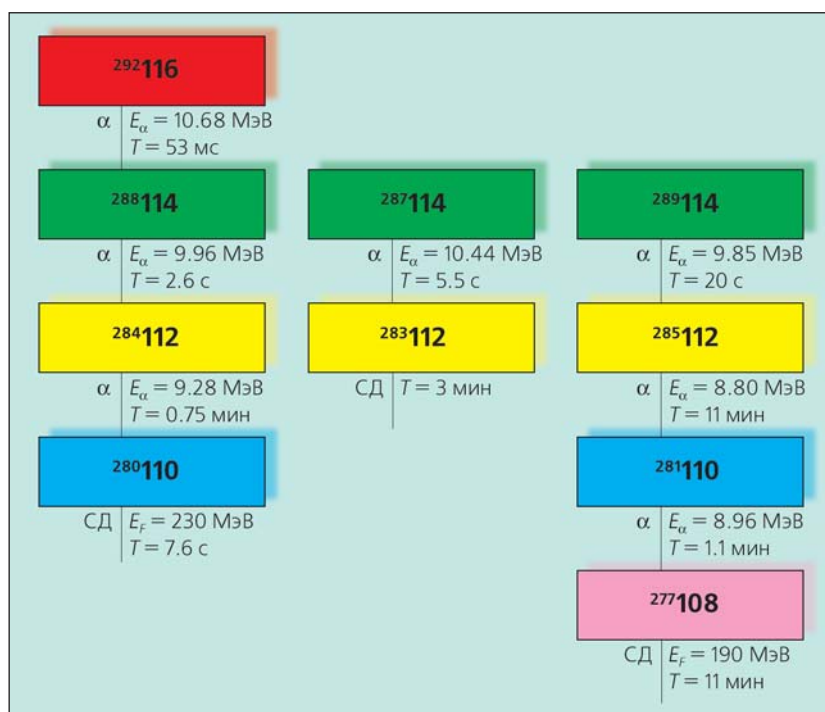
возможные случайные совпадения сигналов, имитирующие искомый распад. Достаточно сказать, что вероятность ошибочной идентификации составляла всего 10<sup>-13</sup>. Такая степень достоверности полученного результата редко достигается в практике физического эксперимента. В итоге проделанной подготовительной работы стало возможным осуществить эксперимент, который имел чувствительность в 1000 раз больше, чем подобные эксперименты по синтезу новых элементов на протяжении последних 25 лет как в нашей стране, так и за рубежом.

Осенью 1999 г. в Дубне приступили непосредственно к синтезу 114-го элемента и был получен положительный результат [9]. В эксперименте, длившемся непрерывно три месяца, было зарегистрировано два атома изотопа <sup>288</sup>114 и один — <sup>289</sup>114. Были установлены их цепочки распада и соответствующие характеристики распада самих

этих изотопов и их «дочерних» продуктов. В 2000 г. в ЛЯР по той же методике был проведен эксперимент по синтезу 116-го элемента, в котором в качестве мишени использовался уже <sup>248</sup>Cm [10]. Результат тоже оказался положительным — было зафиксировано два атома 116-го элемента. При этом при распаде <sup>292</sup>116 воспроизвелась вся цепочка распадов, наблюдаемая при регистрации <sup>288</sup>114.

Для непосвященного человека этот результат может показаться весьма скромным, но для ядерной физики он имеет огромное значение. Предсказание теории было полностью подтверждено. Действительно, в море ядерной нестабильности, простирающимся в конце таблицы Менделеева, обнаружился остров стабильности, на который физики Лаборатории ядерных реакций вступили первыми.

Достигнутый успех породил и новые замыслы. Прежде всего хотелось бы получать ядра сверхтяжелых элементов в больших количествах. Конечно, сам факт открытия нового элемента всего по двум атомам впечатляет, но для более полного изучения требуется значительно большее их количество. Оказалось, что для этого есть резервы — в дальнейшем совершенствовании экспериментальной аппаратуры, в частности в увеличении ее эффективности. В настоящее время в ЛЯР осуществляется проект MASHA с созданием высокоэффективного масс-сепаратора с высоким разрешением. После ввода его в действие можно рассчитывать на получение уже десятков таких атомов сверхтяжелых элементов и исследовать их свойства более широко. Еще один резерв — в получении на ускорителе пучков ионов с возможно большим избытком нейтронов в ядре. Среди естественных стабильных изотопов чемпион по этому параметру — кальций-48 (отношение числа нейтронов к числу протонов R=1.4), но для будущих экспериментов требуется еще бóльшая



Схемы распада изотопов элементов 114 и 116. α — альфа-распад; СД — спонтанное деление; E<sub>α</sub> — энергия альфа-частиц; E<sub>F</sub> — полная энергия осколков деления. T — промежуток времени между последовательными актами распада.

величина  $R$ . Поэтому нужно переходить к ускорению радиоактивных ядер, которые получают при делении урана (осколки деления). Среди них наиболее перспективным представляется олово-132 ( $R=1.64$ ). Ускорить такие ядра — технически очень сложная, но выполнимая задача. На ее решение направлен реализуемый в настоящее время проект DRIBS, где в единый комплекс объединяются сразу три ускорителя, разнесенные друг от друга на сотни метров. В январе 2002 г. была успешно осуществлена первая стадия этого проекта.

Возникли и новые идеи относительно свойств сверхтяжелых элементов, которые следует проверить экспериментально. Образно говоря, попав на остров стабильности, мы еще не добрались до его вершины, пока мы только на одном из отрогов. Но и это может многое сказать. Ясно, что современная теория должна быть пересмотрена с учетом полученных экспериментальных данных. Сейчас она предсказывает время жизни для ядер, находящихся на вершине, в десятки тысяч, а то и миллионов лет. Но не исключено, что с внесением поправок это время жизни возрастет до сотни миллионов лет. И тогда будет иметь смысл искать такие элементы в недрах Земли. То, что они до сих пор не обнаружены, можно объяснить, с одной стороны, их малым содержанием, которое оценивается как  $10^{-16}$  г на грамм руды, а с другой — неопределен-

ностью их химических свойств. Периодический закон Д.И. Менделеева предсказывает, например, что химическим аналогом 112-го элемента должна быть ртуть. Но так ли это на самом деле? Есть основания предполагать, что не совсем. При столь большом числе протонов в составе ядер могут заработать релятивистские эффекты, которые способны существенно повлиять на энергетические состояния электронов в этих атомах и соответственно на химические свойства. Такие предположения требуют экспериментальной проверки. Если же гипотезы о возможном существовании сверхтяжелых элементов в природных образцах подтвердятся, можно будет ставить вопрос об их добыче. Уже сейчас ясно, что они представляют собой очень компактный источник энергии.

\* \* \*

В заключение уместно остановиться на том, каким образом в конце концов разрешилась проблема номинации новых химических элементов, вокруг которой было много неопределенностей и споров относительно приоритетов открытия. Следует сказать, что в исследованиях по синтезу новых элементов фокусируются научно-технические достижения стран, они служат индикатором их общего развития и потому становятся предметом национального престижа. Названия, присвоенные новым химическим элементам, увеко-

вечиваются в Периодической системе — в некотором роде концентрате человеческих знаний о Природе. Этим объясняется имевшая место активная полемика при определении приоритетов открытия между создателями новых элементов. Оставляя за рамками статьи историю каждого открытия, остановимся на конечных результатах. В 1997 г. конгресс Международного союза чистой и прикладной химии официально утвердил названия элементов со 102-го по 109-ый:

102 нобелий	106 сиборгий
103 лоуренсий	107 борий
104 резерфордий	108 ганий
105 дубний	109 мейтнерий

Открытые в последние годы элементы 110—116 еще ждут своих названий. В своем решении конгресс исходил из установленного ранее правила присваивать названия новым элементам в честь выдающихся деятелей науки и географических мест, где находятся научные центры, внесшие значительный вклад в развитие естественных наук. Присвоение 105-му элементу названия «дубний» в честь города Дубны, в котором располагается Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова, стало признанием заслуг в развитии ядерной физики не только этого научного коллектива, но и Объединенного института ядерных исследований, и российской атомной науки в целом. ■

## Литература

1. Оганесян Ю.Ц. На пути к сверхтяжелым // Природа. 1977. №6. С.8—19.
2. Wapstra A.H. // Physica. 1955. V.21. P.367, 385.
3. Престон М. Физика ядра. М., 1964.
4. Щеголев В.А. Сообщение ОИЯИ, Д-98-34. Дубна, 1998.
5. Strutinsky V.M. // Nucl. Phys. 1967. V.A95. P.420—425.
6. Myers W.D., Swiatecki W.J. // Nucl. Phys. 1966. V.81. P.1—9.
7. Sobczewski A., Gareev F.A., Kalinkin B.N. // Phys. Rev. Lett. 1966. V.22. P.500—502.
8. Oganessian Yu.Ts. // Lecture Notes in Physics. 1974. V.33. P.221—226.
9. Oganessian Yu.Ts. et al. // Nature. 1999. V.400. P.242—243.
10. Oganessian Yu.Ts. et al. // Phys. Rev. 2000. V.C63. P.011301(R).

# Еще раз о загадке шестигранной ряби

А.Ю.Иванцов,

кандидат геолого-минералогических наук  
Москва

В первом номере «Природы» 1977 г. (с.141, 142) мне попалась заметка ленинградских геологов В.Н.Шванова и С.С.Латонина, в которой описывается загадочное образование на поверхности дна небольшого временного водоема, имеющее вид правильных шестигранных ячеек. Озеро, вернее глубокая лужа, находилось в центре шестисторонней горной долины. Авторы заметки предположили, что шестигранные ячейки были сформированы стоячей волной, появившейся в результате интерференции ветровых потоков, отраженных от бортов долины. К сожалению, наблюдатели ничего не пишут о населении водоема, а это важно. Такой рельеф может иметь и биогенное происхождение.

Мне не раз встречались лужи с шестигранными ячейками на дне. Их объединяло наличие легкого незакрепленного илистого осадка, присутствие головастиков бесхвостых амфибий и время появления — начало лета. Вид лужи с ячеистым, словно покрытым крупными сотами, дном притягивает внимание своей почти геометрической правильностью, не характерной для окружающей природы. Не удивительно, что ленинград-

ские геологи посвятили несколько дней разгадке этого явления.

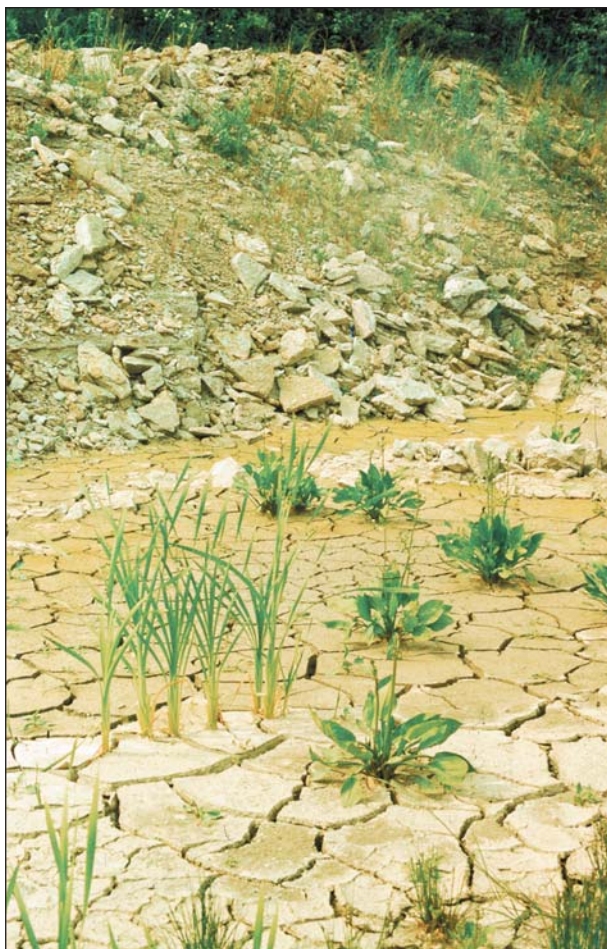
Одно из мест, где ежегодно можно наблюдать временные водоемы с полигонально-ячеистым дном, расположено вблизи дер.Бабино Волховского р-на Ленинградской обл. Здесь находится большой действующий карьер, в котором разрабатываются глинистые известняки ордовикского возраста. Основную площадь карьера занимают гряды отвалов, вытянутые параллельно подковообразному забою. Дно карьера между отвалами покрыто глиной, образовавшейся в результате выветривания ордовикских аргиллитов. Весной здесь повсюду возникают лужи и небольшие озера. Одни из них потом высыхают, другие сохраняются до осени. В начале лета большинство водоемов карьера заселяется личинками разных видов амфибий, но в действующей его части мне встретились только головастики серой жабы *Bufo bufo bufo* (определение И.Л.Сороки, подтвержденное А.С.Северцовым).

В лужах, расположенных вблизи забоя карьера, где постоянно перемещается техника, высших растений мало и даже нитчатые водоросли не образуют больших скоплений. Поэтому верхний слой грунта в них слабо связан и легко поддается

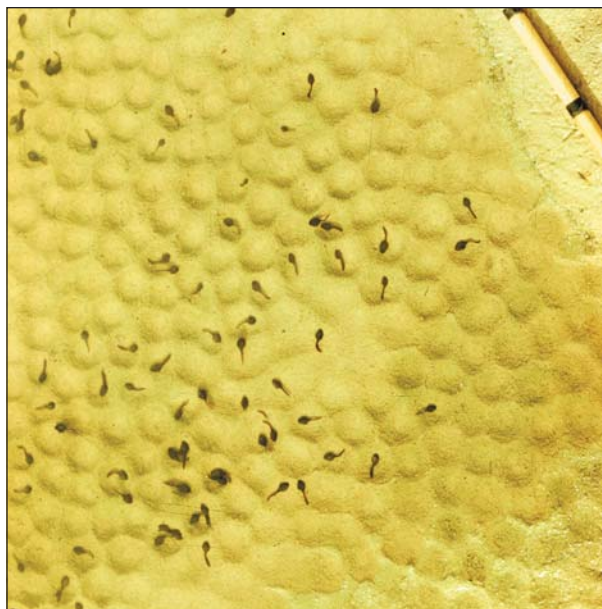
даже незначительному механическому воздействию. В середине июня все дно многих луж, а иногда лишь часть его, бывает покрыто крупными тесно сближенными ямками шириной 3,5—4 см, глубиной 1—1,5 см. Я ни разу не видел одиночных ямок. Полукруглые в поперечном сечении, они должны бы быть круглыми в плане, но поскольку расположены близко друг к другу, имеют вид шести-, реже пятигранников довольно правильных очертаний. Это означает, что центры ямок равноудалены друг от друга. Лужи с ячеистым дном редко бывают глубже 15—20 см. Ямки-ячейки в них находятся на любой глубине, а при подсыхании лужи — и над водой. Только раз мне встретилось поле ямок в многолетнем озере. Здесь, подобно зеленым облакам, лежали поросшие нитчатыми водорослями глыбы известняка, а дно между ними было усеяно крупным растительным детритом. Поле ямок располагалось вдали от берега, где глубина воды больше метра. На его светлой, освобожденной от водорослей и детрита, поверхности то здесь, то там были видны головастики.

Без сомнения ямки-ячейки создаются головастиками. Ветер не может сформировать какие-либо правильные структуры, поскольку изогнутая стенка карье-





Дно карьера недалеко от забоя. В начале лета здесь была лужа, в которой обитали головастики серой жабы.



Головастики на созданной ими полигональной ячеистой поверхности (вверху). Вращаясь в центре ямки, они скусывают что-то с ее стенок.



ра, лабиринт отвалов и отдельно лежащие плиты известняка делают воздушные потоки совершенно хаотическими. Других же природных действующих агентов такого масштаба здесь нет. Хороший пример дает старая автомобильная колея, превратившаяся в цепочку коротких луж. Из них только в одной обитали головастики и именно ее дно покрывали ямки.

Грунт луж — рыхловатый ил. Верхний слой его скреплен какими-то микроскопическими водорослями и имеет зеленоватый оттенок. Дно посещаемых головастиками ямок-ячеек — светло-серое, а края — такие же зеленоватые, как и не потревоженная поверхность. Днем греб-

ни, разделяющие ямки, покрыты пузырьками кислорода, который выделяют фотосинтезирующие водоросли. В ветреные дни все головастики собираются у края лужи, куда ветер сгоняет поверхностную пленку с бактериальной флорой, пылью наземных растений и всяким мелким сором. В тихие дни и в холодное время суток головастики равномерно распределяются по ячестому полю и обычно лежат неподвижно на дне ямки, головой к краю. Время от времени они начинают двигаться по кругу, скусывая что-то со стенок ямки, а совершив несколько оборотов, переплывают дальше. Хотя ямок хватает на всех, и даже много лишних, часто головастики со-

бираются по два-три в одной. Иногда с десяток их набивается в одну ямку, от этого она разрастается и теряет свою правильность, а стенки становятся карнизообразными.

В конце июня, когда у большинства головастиков появляются лапки, а у некоторых начинают рассасываться хвосты, ямки-ячейки пустеют, зеленеют и заплывают. Время их заканчивается.

Итак, полигональная ячеистость дна, во всех деталях сходная с описанной в той давней статье, создается головастиками серой жабы. Но как им удастся настолько равномерно располагать ячейки, для меня осталось загадкой. ■

# Курильская катастрофа полвека назад

А.А.Никонов,

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

Сильнейшие цунами обычно связаны с сильнейшими землетрясениями. Чаще всего они поражают берега Тихого океана. Особенно страдала от разрушительных волн Япония. В 1771 г. при цунами высотой до 30 м погибло 8400 человек, в 1792 г. — свыше 10 500, а в 1896 г. — не менее 23 000. Цунами обрушиваются и на тихоокеанские берега России. Одна из катастроф произошла в 1952 г. на Курилах...

Подвергшаяся сотрясениям и цунами полоса протянулась на 700 (!) км — от мыса Камчатского на севере до средних Курильских о-вов на юге. На открытом восточном побережье Камчатки высота волны достигала 6—10 м. Благо, поселений в те годы там было мало. Землетрясение произошло напротив полуострова и справедливо названо Камчатским, но трагедия стала курильской.

Случись такое в наши дни, страна бы очень долго переживала. Хотя к сообщениям о катастрофах, ввиду их обилия и почти повседневности, мы начали привыкать. Тогда — никакой реакции. И теперь, спустя 50 лет, о трагедии если и помнят, то единицы. Даже среди специалистов. Прочитать и узнать о событии до сих пор



На борту теплохода в Курильском проливе. 1976 г.

Здесь и далее фото автора 1976 г.

практически негде. Фундаментальный и наиболее полный Новый каталог сильных землетрясений в СССР с древнейших времен (1977) имеет специальный раздел с описанием важнейших событий в каждом из

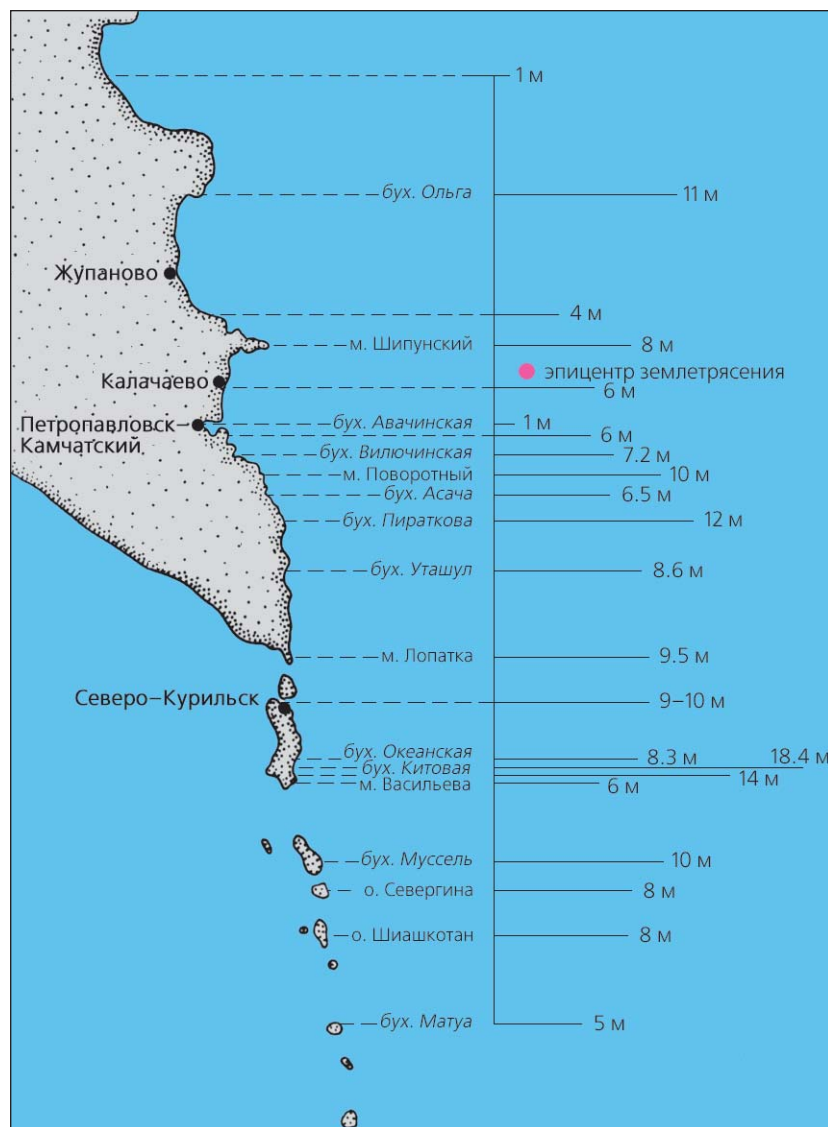
регионов бывшего Союза. Камчатское землетрясение 1952 г. в этом разделе отсутствует (хотя в базовой части каталога, конечно, приведено). Парадокс состоит в том, что само землетрясение, зародившееся под



дном океана в 150–200 км от побережья, разрушительных последствий на самом побережье не имело, в отличие от пришедшего за ним цунами...

Тому, кто специально не изучает землетрясения и другие разрушительные процессы, тридцатилетие (1932–1962) может показаться на удивление спокойным и безопасным. А объясняется это тем, что в стране существовал «запрет на катастрофы» — не только на их освещение, но подчас и на упоминание. Даже о такой крупномасштабной трагедии, как Ашхабадское землетрясение 1948 г. [1], абсолютно замолчать которую стало просто невозможно, появилось газетное сообщение в несколько строк. Правда, немедленно была создана правительственная комиссия и оказана широкая помощь.

О событии 1952 г. страна не узнала вообще. Мы больше знаем о том, что на Камчатке произошло в... 1737 г. Между прочим, примерно в тех же местах. «Учинился на море ужасный шум и волнение, и вдруг залилось на берега воды в высоту сажени на три, которая, ни мало не стояв, сбегала в море и удалилась от берегов на знатное расстояние. Потом вторично земля всколебалась, воды прибыло против прежнего, но при отлиии столь далеко она сбегала, что моря видеть невозможно было. В то время усмотрены в проливе на дне морском между первым и вторым Курильским островом (т.е. между островами Шумшу и Парамушир. — А.Н.) каменные горы, которые до того никогда не виданы, хотя трясение и наводнение случилось и прежде. С четверть часа после того последовали валы ужасного и несравненного трясения, а при том залилось воды на берег в высоту сажени на 30 (согласно первичному донесению того же автора, высота волн составляла 20–30 м. — А.Н.), которая по-прежнему, ни мало не стояв, сбегала в море и вскоре встала на брегах своих,



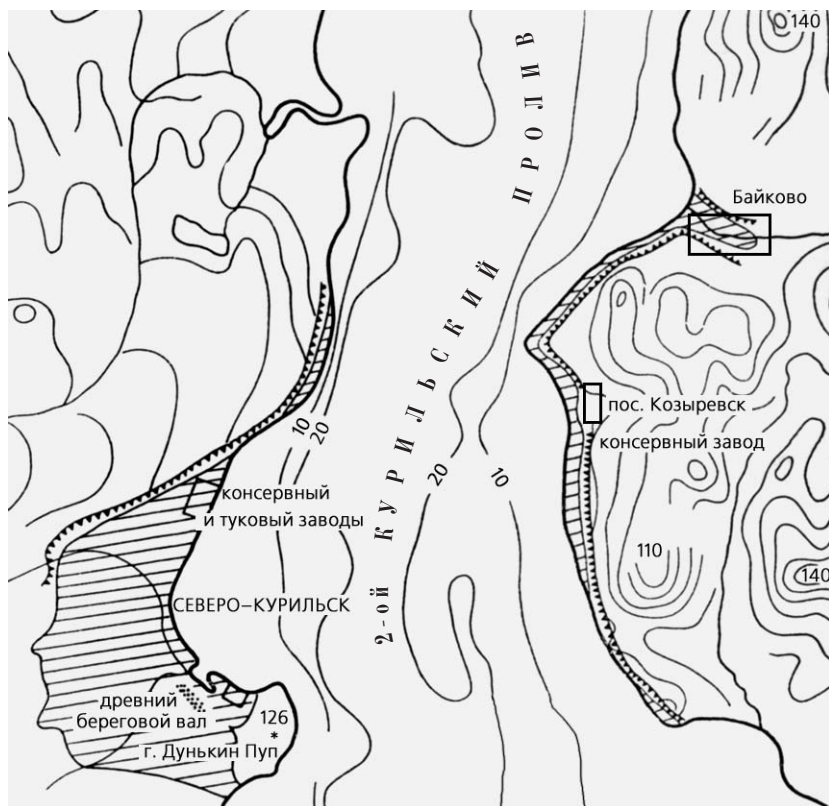
Высота всплеска цунами 5 ноября 1952 г. в различных пунктах Камчатско-Курильского побережья России.

колябсья через долгое время... В некоторых местах луга холмами, а поля морскими заливами сделались» [2].

Этим сведениям мы обязаны знаменитому соотечественнику, естествоиспытателю и первому исследователю Камчатки Степану Петровичу Крашенинникову, книга которого издавалась у нас неоднократно. В приведенном отрывке привлекают внимание несколько моментов. Во-первых, цунами возникло после землетрясения и, несомненно, им и было порождено. Во-вто-

рых, волн было несколько, и первая оказалась не самой большой и разрушительной, а перед приходом основных волн цунами дно море обнажалось на большое расстояние. На обнажение дна в проливе между островами Шумшу и Парамушир при отходе воды указывали очевидцы — русские казаки. Заметим, что глубина пролива вдоль берегов достигает 20 м, а в середине — несколько больше.

Все эти явления, только в несколько меньших размерах, по-



Населенные пункты, пострадавшие от цунами 6 ноября 1952 г. во Втором Курильском проливе. Заштрихована зона затопления берегов.

вторились 215 лет спустя. Еще Крашенинникову было известно: «трясение и наводнение случилось [здесь] и прежде». А вот после 1945 г., когда Шумшу и Парамушир были отвоеваны и заселены заново, обо всем забыли.

И через 200 с лишним лет после Крашенинникова не нашлось писателя, который донес бы до потомков воистину страшную картину неистовства стихии в этих пределах. Наибольшими данными располагал известный вулканолог А.Е.Святловский, но ему удалось опубликовать лишь их малую часть [3]. И теперь сведения, особенно о последовательности событий, ученым приходится собирать по крупицам.

Для начала приведем сообщения из Петропавловска-Камчатского, где обошлось без серьезных последствий. Вот что вспоминает прибывший туда за

два дня до событий моряк: «Пройдя небольшой курс в академии, был я направлен служить на Камчатскую флотилию... Временно остановился в семье знакомого офицера. В ночь с 4 на 5 ноября, часа в четыре, просыпаюсь от страшного грохота. Деревянный двухэтажный дом трясет, будто он стоит на крышке огромного стола и снизу за ножки какая-то сила трясет стол. Быстро оделся, очень даже быстро спустился вниз. Все стояли во дворе раздетые. Тут я понял, что это не просто трясет, а это очень сильное землетрясение... Но никто не предполагал, что нас ждет. Вслед за землетрясением на берег обрушилась волна, цунами... От огромной волны город Петропавловск-Камчатский спас узкий проход в бухту Авачинская» [4].

За 215 лет до того «на Аваче трясение... в первой раз легко было, в другой и третий разы...

очень жестоко было, что многие балаганы оттого попадали». Пожалуй, это не менее 8 баллов по нынешней шкале. В 1952 г. сила землетрясения в Петропавловске составила 6–7 баллов, т.е. обошлось без разрушений, а цунами внутри бухты было минимальным, около 1 м. Если бы этим все и ограничилось!

Трагедия разыгралась на Северных Курилах! Тут самое время сказать, что тогдашнее население островов о правилах поведения во время сильных землетрясений и возможных цунами понятия не имело (если в стране «катастрофы не происходят», то чего же к ним готовиться). Это и сыграло роковую роль. Ибо после прекращения толчков люди возвращались в дома (в 1737 г. курильцы знали, что после землетрясения надо немедленно бежать на ближайшие холмы). А дома стояли — и это было другим следствием неведения — на низких террасах, т.е. вблизи уреза воды и береговой линии. Неведение обошлось более чем 2300 жителям Курил потерей жизни, остальным — полным лишением жилья и имущества. Напрасно многие считают Нефтегорскую катастрофу 1995 г. на Сахалине самой значительной по числу жертв на территории России — во время этого сейсмического события погибло меньшее число людей.

В 1952 г. Северо-Курильск был сметен водной стихией с лица Земли. Четверть века спустя, когда я посетил эти места, город отстраивался заново. Но уже в 1.5–3 км от моря на возвышенном месте. Помимо других учреждений здесь функционировали аэрологическая, метео-, сейсмо- и даже цунами-станции.

Из беседы с председателем райисполкома (еще на борту подходившего к проливу теплохода «Мария Ульянова»):

— Город строится, расширяется вверх. Но водопровод еще японский используется, дороги японские.



— А скажите, в городе поставлен памятник погибшим при цунами 1952 г.?

— Нет, еще нет, надо об этом подумать... Пора, пора. Ведь город, считайте, полностью смыло.

— А корабли и катера, которые волной выбросило на берег, все убрали, или какие-нибудь остались?

— Все свезли, убрали, только один бот японский, перевернутый волной, так и лежит.

В стороне от современного города, над местом бывшего, я нашел то, что называлось кладбищем. На заброшенном, бурьяном поросшем, не огражденном склоне угадывалось несколько могил. Над некоторыми стояли накренившиеся и обветшавшие кресты с плохо различимыми надписями на табличках. Ни одной с 1952 г. обнаружить не удалось. А жертв, как мы теперь знаем, только в самом Северо-Курильске насчитали 1200 человек. Почти все тела смыты и унесены волнами. Ни могил, ни памятного обелиска погибшим не было.

Из записной книжки заместителя начальника отдела внутренних дел Сахалина (от 6 декабря 1952 г.): «...полностью смыты Северо-Курильск, Океанский, Утесное, Левашово, Каменистый, Галкино, Подгорный и др. ... Общие убытки, по приблизительным оценкам, составили 285 млн руб.» [5].

Действительно, от прежнего города осталось не более 5% домов — те, что стояли на прикрывавшей их с востока гряде. На обширной низкой приморской террасе, где прежде располагался поселок с 6 тыс. жителей, в 1976 г. я увидел только массивные ворота бывшего стадиона. Они уцелели потому, что стояли торцом к пришедшей волне. До катастрофы стадион находился вблизи главных административных зданий, в 1 км от береговой черты, а центр города располагался ближе к морю. Высота цунами над городом составляла 9–12 м. Здесь, на голый, совершенно пустынной местности взгляд с удивлением ос-



Катера, выброшенные на берег о.Шумшу 5 ноября 1952 г.

тановился на высоко висевших канатах. Это — перила, за которые в зимнее время (когда снега наметало с дом высотой) можно держаться по дороге из города в порт. Бывало, что и канаты заметало.

Последствия катастрофы изучала специальная гидрографическая экспедиция. Ее выводы так и остались за семью печатями. А вот группе специалистов из академических учреждений свой отчет издать удалось [6]. Спустя шесть лет вышла бро-

шюра объемом 60 страниц. Но значимость ее трудно переоценить.

Вот что сообщалось о событиях в наиболее пострадавшем населенном пункте. «В ночь с 4 на 5 ноября 1952 г., около 4 ч по местному времени, жители Северо-Курильска были разбужены 7-балльным землетрясением. Разрушались печи, падали трубы, с полок падала посуда и другая домашняя утварь. Перепуганные люди выбегали из домов... Через 40 мин после землетрясения со-



Территория бывшего города и Второй Курильский пролив. На прилегающем склоне видно старое кладбище.



Бетонные ворота стадиона в центре города — все, что осталось от первого Северо-Курильска.



Нижняя терраса, на которой первоначально располагался Северо-Курильск. На заднем плане — новый город, построенный на высокой террасе. Канаты, расположенные вдоль дороги, служат поручнями зимой, когда в пургу намечает сугробы до 2—3 м.

стороны океана послышался гул, подобный канонаде. В поселке, расположенном на низком берегу пролива (на высоте 1—5 м над морем. — А.Н.), поднялась тревога, забили в пожарные колокола. Жители центральной части (а это примерно в километре от берега. — А.Н.) услышали о приближении цунами по шуму

и крикам людей, находившихся у берега океана. Через несколько минут на побережье обрушилась высокая океанская волна, которая несла песок, ил и различные обломки... Волна катилась с большой скоростью; наибольшей силы и высоты она достигла в долине реки, проходящей через центр поселка... Через несколько

минут волна отхлынула в море, унося с собой все разрушенное. Отступление первой волны было столь интенсивное, что дно пролива обнажилось на протяжении нескольких сотен метров. Наступило затишье... Через 15—20 мин на город обрушилась вторая, еще большая волна, достигавшая 10-метровой высоты. Она нанесла особо сильные разрушения, смывая все постройки на пути. Позади волны на месте оставались лишь цементные фундаменты домов» [6].

Позднее пришла и третья волна. На восточном берегу того же острова Парамушир в пос.Океанский высота цунами составила 5—8 м, а последствия были столь же разрушительны, как и в Северо-Курильске. Вот что вспоминал один из живших там капитанов: «После сильного сотрясения вновь были колебания. В это время услышал крик людей! Быстро открыл дверь, и в тот же момент вода сшибла меня и подхватила до потолка». Дом, стоявший на расстоянии 30—40 м от океанского берега, развалился, но рассказчику удалось выбраться на крышу. «Когда движение крыши остановилось, я соскочил наземь, побежал вверх по холму. Позднее обнаружилось, что крыша застряла в полукилометре от берега. На холме пробыли 2 или 3 дня, пока не подошли корабли из Петропавловска» [5].

В пос.Океанский погибла почти половина населения (460 чел.). Разрушению подверглись все производственные и жилые помещения.

О том, как шли волны, сведения отрывочные. Вот редкие свидетельства захваченных цунами и случайно выживших. Первое принадлежит начальнику топографо-геодезической партии, палатки которой стояли на берегу бухты Жировой на юго-восточном окончании Камчатки, южнее Авачинской бухты. «...Первая волна была сравнительно небольшой высоты, около 4—5 м, и, главное, небольшой скорости. Перед ней на-



блюдался быстрый подъем воды, и потом уже налетела сама волна. Она разрушила почти все дома поселка и потом, отхлынув в море, почти все смыла. Минут через 10—15 после первой волны со стороны моря [пришло] то, что оказалось второй волной, гораздо большей высоты, (ориентировочно до 10 м) с массой пены и водяной пыли. Волна налетела на меня со страшной силой... подхватила шлюпку, высоко подняла ее на гребень и перевернула...» [6].

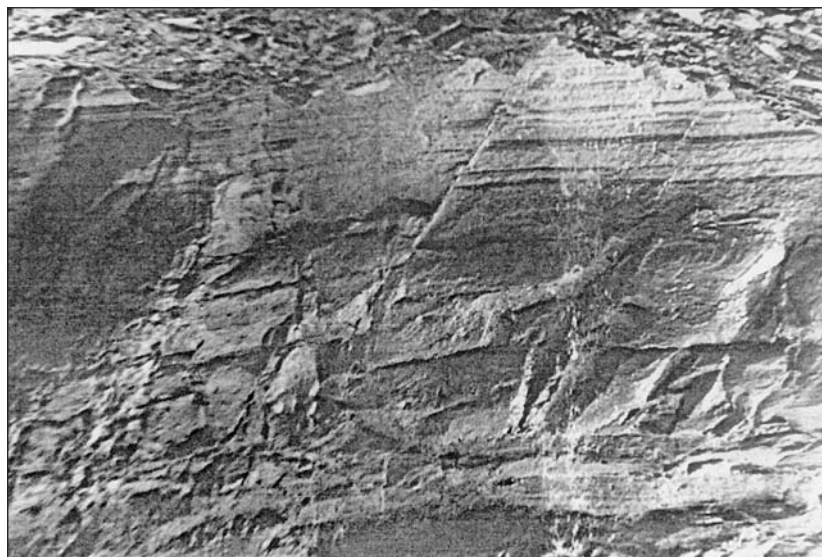
Другое свидетельство получено из пос. Козыревский, что напротив Северо-Курильска, через пролив. После сильного толчка рассказчик выскочил из дома и бросился к берегу моря (!), откуда уже бежали люди с криками. Это было спустя 30 мин (по другим свидетельствам вдвое меньше. — А.Н.) после первой волны. Спокойное море блестело под луной, очевидец заметил мокрые стены домов и пятна песка на них (редкое свидетельство действия волны цунами. — А.Н.). Он увидел, как вода быстро убегала от берега и дно обнажилось на глубину 7—8 м (тоже редкое и важное наблюдение. — А.Н.). Затем послышался сильный шум, и по лунному отражению стало видно быстрое приближение моря. Волна шла пологая, без буруна. Тем не менее она сильно ударила в постройки. По отступлению воды вся бухта оказалась покрытой обломками.

Распределение высоты фронта цунами (в данном случае вдоль восточных берегов Камчатки и Северных Курил) оказалось неравномерным — от 5 до 15 м. Как правило, это зависит от конфигурации береговой линии, угла подхода волны, профиля дна. В Северо-Курильском проливе, в 300—350 км от эпицентра, сильный подъем воды обусловлен сужением берегов к западу, по направлению хода волны. В 400 км от эпицентра, в одной из бухт, за счет ее узости, открытости и прямолинейности волна поднялась на 20 м.

В низменных местах (более обжитых и освоенных) цунами изменяло надводный и подводный ландшафт, вырывая деревья и кустарники, прорывая косы, промывая углубления в рыхлых накоплениях, заноса песком впадины. О кардинальном изменении освоенных человеком территорий, разрушении культурного ландшафта прибрежной полосы и говорить нечего. На жилых пространствах — хаос обломков, отдельные перенесенные за сотни метров дома и крыши. На месте заводов и причалов редко оставались лишь бетонные площадки, многотонное механическое оборудование срывалось с постаментов и разбрасывалось в разные стороны. Полный разгром! Стоявшие у причалов корабли, баржи, катера оказывались заброшенными далеко на берег. Было сообщение, что большую самоходную баржу обнаружили в 2 км от воды.

Находясь в Северо-Курильске, я, конечно, посетил и сейсмостанцию. Молодые сотрудники подробно рассказывали о приборах, организации наблюдений и способах их обработки. О бедствии 1952 г. знали только понаслышке. Но зато

в их памяти были живы впечатления о близком Парамуширском землетрясении 1973 г. Тогда они никак не могли дозвониться на почту! Передать с сейсмостанции сообщение о предполагаемом цунами можно было только по телефону. Впоследствии выяснилось, что телефонистки во время землетрясения разбежались со страха. По счастью, в тот раз волна цунами поднялась всего на 2 м и вреда не причинила. Само же землетрясение с  $M=7.5$ , возникшее в нескольких десятках километров восточнее города, ощущалось в нем как 7-балльное. На нескольких домах обвалились печные трубы, появились трещины и в здании сейсмостанции. Сейсмограф зафиксировал смещение почвы на 2 см. Сотрудники сообщили, что в 9 км восточнее города, в сторону эпицентра, на мысе Округлом, в горизонтально залегающих осадочных алевролитах миоценового возраста образовались разрывы в 15 см со взбросовыми подвижками вверх и к западу. Очаги землетрясений в Курило-Камчатской зоне обычно располагаются глубоко под земной корой. Наблюдение здесь, на суше, сейс-



Диагональные разрывы, возникшие при сильном землетрясении 1973 г. на берегу о. Парамушир.





Сейсмостанция в новом Северо-Курильске, построенная после 1952 г.

мотектонических разрывов, пусть даже вторичных, — большая редкость.

Вернемся к землетрясению 1952 г., которое породило столь масштабные и разрушительные цунами. Его магнитуду (энергию)  $M=8.5\pm 0.3$  и балльность  $I_0=11\pm 1$  можно сопоставить лишь с двумя известными на суше, в пределах Российской империи, событиями — в Северном Тянь-Шане в 1887 и 1911 гг. Все другие памятные землетрясения за последние 250 лет (включая Ашхабадское 1948 г. и Спитакское 1988 г.) по магнитуде были на 1—1.5 единицы слабее. Особенность Камчатского землетрясения в том, что при относительно неглубоком (для Курило-Камчатского сейсмического пояса) залегании (около 20—30 км) его очаг вытянулся вдоль берегов почти на

500 км. Относительно слабое (до 7 баллов) воздействие землетрясения на Камчатский п-ов и Курилы связано с тем, что ось очага располагалась на расстоянии 140—180 км от берега. Будь она ближе...

Впрочем, в газетах того времени появилось бы в лучшем случае несколько строк, и люди узнали бы только о всенародной помощи пострадавшим. Помощь действительно была. Военные корабли получили приказ (через сутки), гражданские суда — распоряжения, местные катера начали действовать сразу и без каких-либо указаний сверху. Военные и рыболовные суда несколько суток бороздили место события, вылавливая из воды окоченевших — еле живых и неживых. (Ноябрь! Тихий океан! Здесь и летом-то у берега выше 8°C редкость.) «Бригады кате-

ров, унесенных в пролив во время катастрофы, боролись со стихией, спасали людей в течение двух суток, а затем без отдыха эвакуировали жителей с островов на пароходы» [6].

Уроки катастрофы полувековой давности в значительной мере были извлечены. Поселки стали строить на возвышенных местах (как и настаивали академические эксперты), резко активизировались работы по районированию и оценке опасности цунами. В 70—80-е годы действовала система оповещения о возможных цунами после сильных землетрясений (правда, 80% тревог оказались ложными). Американцы, между прочим, сумели предупредить население Гавайских о-вов в злополучном 1952 г., и там избежали жертв.

Ныне на востоке страны научные работники свой долг несут упорно. Коллеги из Сахалинского научного центра инициировали и осуществили сбор сведений о Курильской катастрофе 1952 г. в открывшихся, наконец, архивах. Честь им и хвала! Намечен выпуск специальной книги материалов. Недавно в Петропавловске-Камчатском состоялась очередная международная конференция по проблемам возникновения и снижения опасности цунами. Ее успех должен содействовать большей безопасности жителей этого, столь сурового, наполненного трудностями и опасностями, края России. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 00-05-64697.**

## Литература

1. Никонов А.А. Ашхабадская катастрофа: известная и неизвестная // Природа. 1998. №10. С.11—20.
2. Крашенинников С.П. Описание земли Камчатки. М., 1948.
3. Святловский А.Е. Землетрясения и сейсмические волны (цунами) Тихого океана. Магадан, 1956.
4. Шустер Д.М. // Нева. 1999. №4. С.232—233.
5. Kaistrenko V., Sedaeva V. North Kuril tsunami: new data from archives // Tsunami Research at the End of Critical Decade / Ed. G.T.Hebenstreit Kluwer. Dordrecht; Boston; London, 2001. P.91—102.
6. Саваренский Е.Ф., Тищенко В.Г., Святловский А.Е. и др. Цунами 4—5 ноября 1952 г. // Бюл. совета по сейсмологии. 1958. №4.

# ГЭС на малых реках России: достоинства и недостатки

Л.К.Малик

**Н**е так давно в рамках государственной научно-технической программы «Безопасность населения и народно-хозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф», курируемой МЧС, в лаборатории гидрологии Института географии РАН были проанализированы некоторые экологические проблемы развития малой гидроэнергетики в России [1].

В последнее десятилетие все чаще обращаются к потенциалу малых рек. Из 3 млн рек на территории бывшего СССР 2,9 млн имеют длину до 100 км — их и считают малыми. Сток таких водотоков составляет около 50% общего, но в водохозяйственном балансе участвует лишь около 25% этой воды. Однако в жизни общества роль малых рек исключительна, поскольку на их долю приходится 95% общей протяженности гидрографической сети [2]. На их водосборах и в прибрежных зонах сосредоточена большая часть населения страны — до 44% городских жителей и 90% — сельских, 127 тыс. малых рек используются для хозяйственных нужд.

С другой стороны, малые реки — удобный тракт для удаления сточных вод, которые они транспортируют в большие во-



*Лилия Константиновна Малик, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Института географии РАН. Область научных интересов — взаимодействие гидротехнических сооружений с окружающей средой. В последние годы занимается экстремальными гидроэкологическими ситуациями на территории России.*

дотоки, обостряя экологические, экономические и социальные проблемы. В настоящее время уменьшается водоносность многих малых рек, ухудшается их водный режим, снижается качество воды, особенно в засушливые годы и т.д. В сельской местности они часто загрязнены биогенными веществами, заилены, зарастают растительностью и потому теряют рекреационное и рыбохозяйственное значение. Их состояние, особенно в европейской части России, близко к катастрофическому, чему во многом способствуют интенсивное судоходство и сплав леса. Еще хуже дело обстоит в районах нефтедобычи, где поверхность водотоков покрыта маслянистой пленкой. Таким образом, малые реки — наи-

более ранимое звено гидрологической системы. Поэтому их освоение в энергетических целях требует чрезвычайно осторожного подхода.

Теоретический потенциал малой энергетики России оценивается Ленгидропроектом в 1520 млрд кВт·ч (30% от общего потенциала водных ресурсов страны). При этом экономически целесообразная часть — 493 млрд кВт·ч, в том числе более 100 млрд кВт·ч — в европейской части страны. В 90-х годах предполагалось довести установленную мощность малых гидроэлектростанций (МГЭС) к 2000 г. до 3000 МВт с выработкой более 12 млрд кВт·ч в год, что могло бы дать экономию более 4 млн т органического топлива (в пересчете на условное топливо) [3]. Од-

© Л.К.Малик

нако из-за распада СССР, перехода экономики на рыночные отношения, отсутствия финансирования, резкого снижения объемов промышленного производства и потребностей в электроэнергии, протестов общест-венности и ряда других причин энергетическое строительство было свернуто, многие объекты были законсервированы.

В последние годы роль МГЭС выросла в связи с дефицитом и увеличением стоимости органического топлива, необходимостью электрификации изолированных сельских и промышленных потребителей, большими затратами на транспортировку дизельного топлива в отдаленные районы.

### Целесообразность строительства малых гидроэлектростанций

МГЭС экономически целесообразны по многим причинам: их сооружение не требует больших капиталовложений, что облегчает поиск инвесторов, они менее трудозатратны, что чрезвычайно важно, например, для условий Крайнего Севера, быстрее строятся и окупаются, хотя стоимость 1 кВт энергии на них выше, чем на средних и больших гидроэлектростанциях.

При строительстве МГЭС можно поочередно возводить гидроузлы, по мере необходимости наращивая регулируемую емкость. Сооружение большого числа водохранилищ для малых станций помимо выработки электроэнергии обеспечит водой различные отрасли хозяйства. Развиваясь параллельно с крупными ГЭС, малые особенно эффективны там, где передача энергии затруднена, например в труднодоступных горных районах, чреватых авариями ЛЭП из-за схода лавин и т.д. К тому же специалисты считают весьма эффективной работу МГЭС и в составе объединенных систем в качестве надежного маневренного источника энергии.

Кроме экономических преимуществ у МГЭС имеются и экологические. По разным оценкам, доля топливно-энергетического комплекса в России в загрязнении воздушного бассейна составляет 50%, из них 27% приходится на долю электроэнергетики, 11% — на долю котельных и мелких отопительных установок. Создание МГЭС взамен небольших электростанций, работающих на органическом топливе, приводит к существенному оздоровлению воздушного бассейна.

При их сооружении подтапливаются и затопляются гораздо меньшие площади по сравнению со средними и тем более крупными гидроузлами, особенно если МГЭС располагаются на равнинных реках, в верхних частях их бассейнов или на беспойменных участках. В этих случаях водохранилища могут подпитываться из больших рек по каналам и трубопроводам, что одновременно обеспечивает поддержку необходимого уровня малых рек, а также возврат вод в основные реки [4]. Наиболее же эффективно строить малые гидроэлектростанции на горных реках с устойчивыми к размыву и подтоплению валунно-галечниковыми руслами и каменистыми склонами долин.

Влияние плотин МГЭС на малые реки окажется наименьшим, если водохранилища ГЭС будут расположены в пределах русла и их нормальный подпорный уровень не будет превышать отметок бровки. Более того, появились проекты бесплотинного функционирования МГЭС, их пристраивают к существующим ГЭС, каналам и т.д. Небольшие по объему водохранилища не препятствуют процессам водообмена в речных системах — напротив, способствуют перемешиванию водных масс и их аэрации.

Подготовка ложа к затоплению малых искусственных водоемов не сложна по сравнению со средними и крупными водохранилищами. Серия МГЭС может создавать условия как для

многолетнего регулирования стока, так и для снижения пиков паводков или паводков.

Плотины и водохранилища МГЭС в меньшей степени, чем другие энергообъекты, нарушают естественную среду. Они не так опасны для рыбного хозяйства, как плотины средних и крупных ГЭС, перекрывающих миграционные пути проходных и полупроходных рыб и затопляющих нерестилища. Кроме того, расположение малых водохранилищ в приводораздельной части бассейнов рек способствует переводу поверхностного стока в подземный и росту почвенной влаги. Благодаря небольшим объемам они не могут спровоцировать землетрясения и менее опасны, если окажутся в эпицентре сейсмических катаклизмов.

Положительная их сторона особенно проявляется в маловодные сезоны, что в конечном итоге отражается и на режиме главных рек. Наибольшего же эффекта от внутригодового перераспределения стока такими водоемами, при их массовом строительстве, можно ожидать в засушливых районах. Важен и положительный социальный эффект — они не требуют переселения жителей.

Наиболее эффективны МГЭС на Крайнем Севере и во многих регионах Сибири и Дальнего Востока, населенных представителями малочисленных народов.

Строительство средних и крупных водохранилищ неблагоприятно сказалось на большинстве представителей животного мира, попадавших в зоны затоплений и влияния водоемов. Создание МГЭС, вместе с использованием других нетрадиционных источников энергии (ветра, термальной вод и т.д.), не препятствует охотничьему промыслу — основному занятию коренного населения — и в то же время позволяет надеяться на подъем национальной экономики, возрождение культуры, обустройство старых и создание новых поселений.



Еще одна важная проблема — относительная безопасность создания МГЭС. Очевидно, что непосредственный ущерб от повреждения или полного разрушения таких плотин по сравнению с крупными станциями будет несравнимо меньшим. Но когда малая гидростанция — единственный источник энергии для поселка или хозяйственного объекта, ее повреждение может иметь далеко идущие последствия.

### Возможность аварий на плотинах

Наиболее распространенный вид аварий на плотинах ГЭС, особенно малых, — перелив воды через гребень плотины из-за прохождения паводков, с расходами выше расчетных, отказом гидромеханического оборудования, ошибками в проектах и обслуживании.

В истории плотин немало примеров их разрушения под влиянием крайне редких высоких паводков. В нашей стране аварий на крупных плотинах не случалось, но на малых реках они происходили. Их причины в последние годы — перестройка экономики и ликвидация ряда органов управления водным хозяйством, отсутствие хозяина у некоторых водохранилищ, сокращение сети Роскомгидромета. Отсюда — трудности обоснованного прогноза экстремального паводка. Серьезным фактором возможных аварий становится старение сооружений и отсутствие финансирования на их профилактический ремонт, замену пришедшего в негодность оборудования.

Так, в 1993 г. на Урале произошла авария на Кисилевской грунтовой плотине (р.Каква), водосбросы которой были рассчитаны для пропуска  $560 \text{ м}^3/\text{с}$  воды. Прошедший паводок имел расход  $1000 \text{ м}^3/\text{с}$ , что привело к разрушению плотины, смыву 1200 домов и гибели 15 человек. Формирование катастрофичес-



Верховья р.Малый Кас (левобережье Енисея).



Забор воды для орошения из р.Пышмы (Тюменская обл.).

Фото Л.К.Малик

кого расхода воды связывают с уничтожением на водосборе реки лесов и болот и экстремальными дождевыми паводками, наложившимися на снеговое половодье [5].

Нередко переливы через гребень плотин связаны с отказом механического оборудования и невозможностью открыть затворы водосбросов из-за нарушения электроснабжения. По-

добные аварии наблюдались в Испании в 1982 г. на плотине р.Тоус, в Румынии в 1931 г. на плотине р.Бельцы и т.д.

Иногда затворы водосборных сооружений не удается открыть из-за редкого их использования, некомпетентности обслуживающего персонала, отсутствия профилактики и периодической проверки их эксплуатационной надежности. Так,

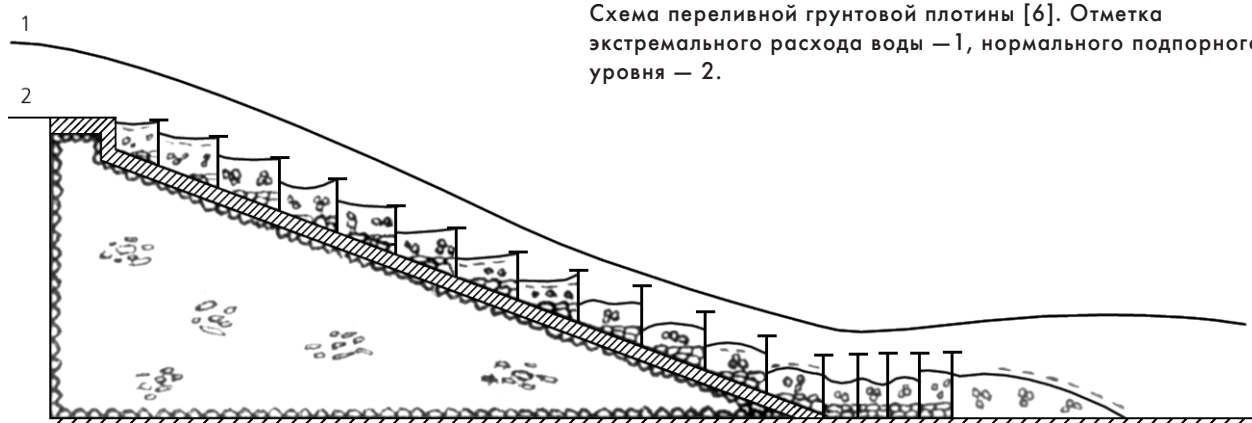


Схема переливной грунтовой плотины [6]. Отметка экстремального расхода воды — 1, нормального подпорного уровня — 2.

в 1994 г. Тирлянское водохранилище на р.Белой переполнилось из-за интенсивных дождей. Затворы водосброса начали поднимать, когда уровень воды оказался выше гребня грунтовой плотины высотой 9,85 м. В результате ее прорвало, затопило ряд населенных пунктов, погибло 22 человека. Неготовность к работе водосброса вызвала разрушение ограждающей дамбы Сургутской ГРЭС, так как в паводок не удалось полностью открыть затворы.

Перелив воды через гребень МГЭС в Ленинградской обл. — Белогорской на р.Оредж и Будогощской на р.Пчезжа — также привел к их разрушению, что связывают с некомпетентностью и халатностью обслуживающего персонала.

Во время разгула стихии в августе 2002 г. в районе Новороссийска в плотине водохранилища у пос.Абрау-Дюрсо возникла трещина, и только чудо позволило избежать обрушения плотины и сброса 4,5 млн м<sup>3</sup> воды на нижележащие поселки. В дальнейшем воду из водохранилища удалось спустить, что предотвратило еще большую катастрофу.

Гидротехники, конечно же, предпринимают усилия для предотвращения аварий. Они рекомендуют сооружать надежные по гидравлическим условиям конструкции переливных грунтовых плотин со ступенчатым

откосом (низовой гранью), обращенным к нижнему бьефу. Такие плотины из камня, с каменной или бетонной облицовкой уже давно используются в гидротехнике для гашения энергии водных потоков и сокращения размеров водобойных устройств [6]. У них нет специальных затворов, но гребень переливного участка должен располагаться на отметке нормального подпорного уровня (НПУ), а водосбросный участок не должен превышать ширины реки в межень в нижнем бьефе.

Используются и более универсальные (для плотин различных размеров) автоматические водосбросные системы, разработанные исследовательским центром фирмы «Гидроплюс» [7].

Они сконструированы из серии специальных бетонных или металлических сооружений (блоков), устанавливаемых на гребне плотины, каждое из которых опрокидывается, когда уровень водохранилища достигает определенной отметки, увеличивая пропускную способность.

В последние годы появилась опасность повреждения гидротехнических сооружений в связи с военными действиями в зонах этносоциальных конфликтов и возможными террористическими актами. Например, были повреждены турбина Дубоссарской ГЭС (при артоб-

стреле во время вооруженного конфликта в Приднестровье), небольшие плотины в Нагорном Карабахе; существовала опасность разрушения плотины Нурекской ГЭС в Таджикистане, а также повреждения плотины Чиркейской ГЭС на Кавказе и т.д.

Но не только возможные аварии тормозят гидроэнергетическое освоение малых рек. Слабо изучен их режим, а также влияние МГЭС на природную среду. Положение дел осложняется отсутствием современных методов оценки стока малых рек. Впрочем, обнадеживающий материал для изучения режима малых рек дают многолетние наблюдения на воднобалансовых станциях и парных бассейнах Росгидромета, но сеть этих станций недостаточна.

У водохранилищ МГЭС, особенно в горных и предгорных районах, остро стоит проблема заиления и вследствие этого — подъема уровней воды, затоплений и подтоплений, частичной или полной потери их регулирующей способности, снижения гидроэнергетического потенциала рек и выработки электроэнергии. Задержка наносов в нижних бьефах плотин может неблагоприятно повлиять на процессы, формирующие русло. Если же река впадает в море или озеро, горные МГЭС перекрывают своими плотинами источники пляжеобразующих наносов





Река Эрзит в Туве.



Приток р. Мсты (Новгородская обл.).

Фото М.В.Глазова

(такие явления наблюдаются на Кавказе).

Прогнозирование последствий от создания плотин малых гидроэлектростанций нередко сложнее, чем крупных. К малым равнинным водохранилищам, например, не всегда применима методика расчета изменений берегов, свойственных крупным водохранилищам.

Не все известно и о сейсмичности многих регионов, перспективных с точки зрения сооружения МГЭС, — Алтай, Кавказ, Якутия и т.д.. Возможная опасность повреждения гидротехнических сооружений снижает их экологические преимущества.

Не разработана методика определения эффективности МГЭС (пользуются той, что предназначена для крупных). Приходится помнить, что такие электростан-

ции не всегда обеспечивают гарантированную выработку энергии, будучи сезонными электростанциями. Зимой их отдача резко падает, снежный покров, лед и шуга, как, впрочем, и летнее маловодье и пересыхание рек, могут вообще приостановить их работу. Поэтому требуются дублирующие источники энергии. Вот почему они имеют преимущественно локальное значение.

Не останавливаясь на технических подробностях развития малой энергетики, подчеркнем, что массовое строительство МГЭС возможно лишь при серийном выпуске простого и надежного оборудования и автоматизации управления станциями. Так, разработаны проекты унифицированных гидроагрегатов для МГЭС с турбинами, работающими в диапазоне напоров до 75 м.

Гидроэнергетическое освоение требует не только знания морфологических особенностей реки и ее режима, но и ландшафтных особенностей территории — возможны подъем уровня грунтовых вод и другие последствия. Да и сама река — один из элементов ландшафта, и ее изменение может оказать влияние на стабильность экосистемы. Поэтому создаваемое водохранилище МГЭС должно способствовать ее сохранению. С этой целью предельный объем регулирования реки не должен превышать 20–30% среднего годового стока в устье, необходимо соблюдать определенные критерии скорости течения и водности ниже плотины. При строительстве каскада низконапорных плотин обязательны расчистка русел, а также другие мероприятия.





Малые реки в горах наиболее перспективны для строительства гидроэлектростанций: сверху — левый приток Сумульты (бассейн Катунь), внизу — р.Левая Убинка в верховьях Иртыша.

Фото Л.К.Малик

## Программа строительства

Сотрудники АО «Институт Гидропроект», головной организации по проектированию ГЭС, разработали программу строительства и восстановления сотен МГЭС во всех регионах России, в том числе на Северном Кавказе (в Дагестане,

Ставропольском и Краснодарском краях, Северной Осетии, Кабардино-Балкарии), в ряде областей Центральной России и других регионах.

Остановимся несколько подробнее на некоторых проектах, разработанных Ленгидропроектом. Так, несколько МГЭС планируется создать в Камчат-

ской обл., имеющей самую низкую в России выработку электроэнергии на душу населения — менее 4000 кВт·ч в год [8]. Энергетика этой области базируется на привозном органическом топливе. Его дороговизна, трудности и нерегулярность доставки побудили сотрудников Ленгидропроекта рассмотреть возможности освоения потенциала малых рек путем сооружения на них бесплотинных малых станций, так как малые реки Камчатки — нерестовые. В течение года была построена МГЭС на р.Быстрой, где водозабор в агрегаты осуществляется без плотины и даже без «стеснения» русла. Благодаря этому не нарушается водный режим реки и нет препятствий для хода рыбы на нерест, а зимний сток позволяет станции вырабатывать электроэнергию круглогодично. Предполагается также построить каскад трех, а возможно, и четырех МГЭС на р.Толмачева. При этом одноименное озеро площадью 22 км<sup>2</sup>, из которого вытекает река, будет использоваться в качестве водохранилища многолетнего регулирования стока. Однако уровень воды в озере поднимется плотиной ГЭС на 12 м (что в пределах исторически наблюдавшихся уровней) и затопит более 2000 га прибрежных территорий.

По мнению специалистов, проект энергетического освоения р.Толмачева не должен нанести урон ландшафтам бассейна и водопадам реки. Предусматривается полная уборка леса и кустарника в зонах затоплений, строительство ихтиологического стационара на озере и другие природоохранные меры, начатые еще в 1993 г.

Предполагается также создание пяти ГЭС на малых реках в Корякском автономном округе, из них три в бесплотинном варианте. После ввода этих станций в эксплуатацию общая годовая экономия дизельного топлива может составить 17—18 тыс. т (около 30% ежегодно завозимого).

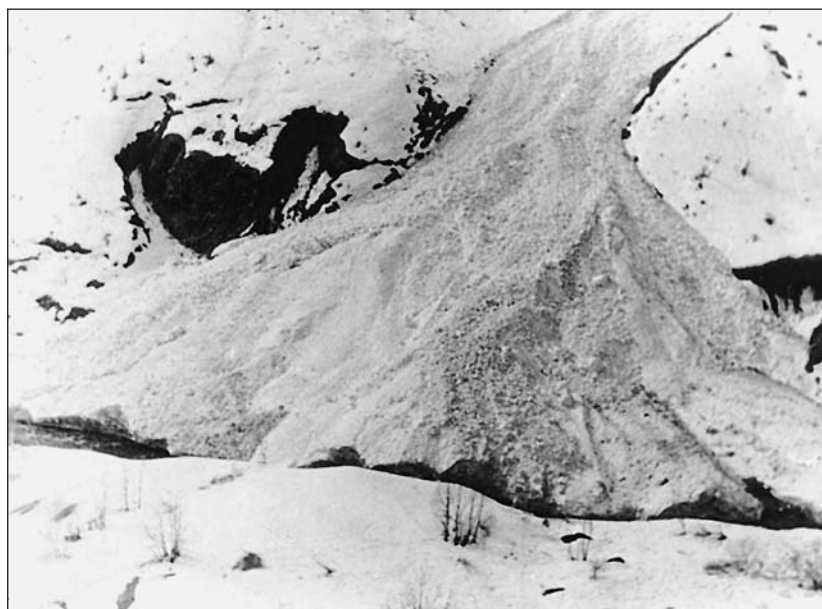
Всего на Дальнем Востоке, где функционирует около 3000 дизельных электростанций мощностью до 500 кВт и электроснабжение большей части территории зависит от поставок топлива, Ленгидропроектом предложено более 200 створов для строительства малых ГЭС с суммарной выработкой энергии до 1500 млн кВт·ч/год.

Однако далеко не на всех малых реках могут быть построены бесплотинные ГЭС, не препятствующие ходу рыбы на нерест. Существующие в России и за рубежом типовые рыбопропускные сооружения (шлюзы, рыбоподъемники и т.д.) в большинстве случаев не выполняют своих функций, имеют очень небольшую рыбопропускную способность и неудачно расположены в системе гидроузлов, что отпугивает, а не привлекает рыб.

Правда, можно улучшить положение с помощью специальных рыбоходов [9], в которых условия максимально приближены к природным: дно выложено естественными материалами, скорости течения приближены к речным, сам рыбоход повторяет изгибы реки и его вход определяется поведением рыб в водном потоке. Эти близкие к малой реке или ручью водотоки не могут быть типовыми, а предназначены для конкретного рыбного стада.

Попытки сооружения таких рыбоходов в России известны давно, но не получили широкого распространения. Между тем один из них был построен еще в 1936 г. на Туломской ГЭС и до сих пор успешно пропускает семгу, идущую на нерест. Этот опыт не имел последователей, но может быть использован, например, на Камчатке.

Начинают осваивать гидропотенциал малых рек и в Республике Саха, где очень много децентрализованных потребителей энергии, которую вырабатывают 1100 мелких дизельных станций. Последние ежегодно потребляют 500 тыс. т органического топлива. В настоящее



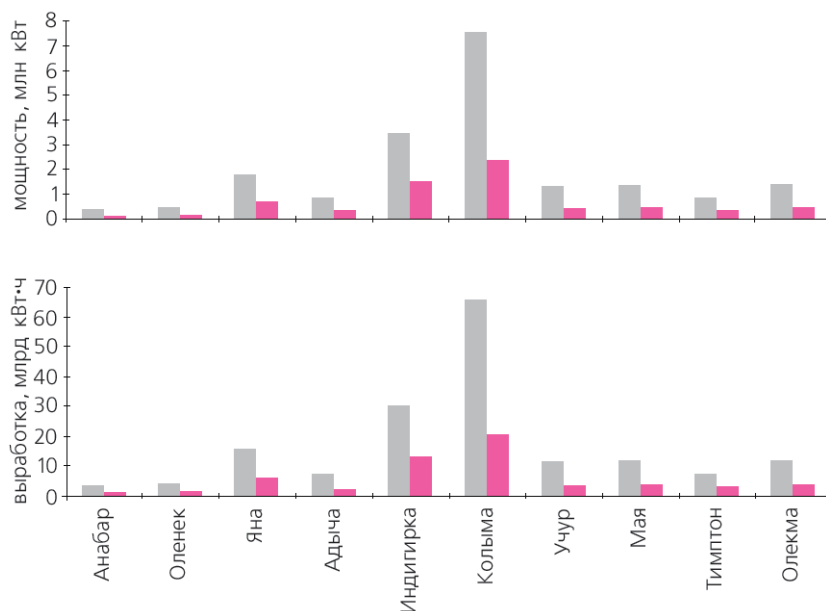
Явления, опасные для работы МГЭС: вверху — половодье разрушило мост на р.Чуя, внизу — снежная лавина, перекрывшая р.Сухая Зевака (бассейн Бухтармы).

Фото Л.К.Малик

время составлен энергетический кадастр малых рек, расположенных в бассейнах р.Анабара, Оленека, Яны, Индигирки, Колымы, Алдана, Олекмы общей площадью более 2,5 млн км<sup>2</sup> [10].

Трудности использования энергии малых рек на севере Якутии связаны с небольшими — от 0,92 м<sup>3</sup>/с до 11,5 м<sup>3</sup>/с —

расходами воды, сезонностью работы малых ГЭС в суровых климатических условиях — три-четыре месяца в году, остальное время реки перемерзают. На юге условия эксплуатации таких ГЭС более благоприятны — пять-шесть месяцев они свободны ото льда, — но многие из них имеют рыбопромыс-



Гидроэнергетические ресурсы малых рек Якутии (потенциальные и технически возможные для использования — цвет) в отдельных крупных бассейнах [10]. Вверху — мощность водных ресурсов, внизу — выработка электроэнергии.

ловое значение, и здесь необходимо создание проточных условий.

Одна из многих экологических проблем Байкальского региона — загрязнение среды небольшими дизельными электростанциями. И здесь альтернативой им может стать использование гидроэнергетического потенциала малых рек. Анализ гидрологических характеристик 11 рек в четырех районах Бурятии, выполненный в Восточно-Сибирском

филиале ВНИИ электрификации сельского хозяйства, показал, что реки этого региона имеют большое количество участков со скоростью водного потока и глубиной русла, позволяющих построить и эффективно эксплуатировать малые бесплотинные ГЭС [11].

Однако гидротехническое строительство на Севере, в районах распространения многолетнемерзлых пород, требует особых подходов и специаль-

ных разработок. Ландшафты здесь чрезвычайно уязвимы при различных видах хозяйственной деятельности. Создание даже небольших гидроузлов может изменить условия теплообмена, температурный режим и физико-технические свойства грунтов и привести к развитию термокарста, термоэрозии, образованию наледей и т.д. Это заставляет тщательней изучать последствия уже созданных в этих районах гидроузлов.

В горных и предгорных районах в настоящее время чрезвычайно актуально создание подземных МГЭС, более всего отвечающих условиям безопасности при стихийных или антропогенных (возможно, преднамеренных) воздействиях.

Очень важный аспект строительства гидроэлектростанций на малых реках — разъяснение выгод от таких энергообъектов населению. Только учитывая взаимоотношения с природной средой различных социальных и этнических групп, можно создать условия для экономической заинтересованности регионов.

И, наконец, создание плотин различного назначения на малых реках требует установления их ведомственной принадлежности (часто у них нет хозяина), наблюдений за состоянием гидроузлов и прогноза их поведения в экстремальных ситуациях. Все это необходимо для предотвращения человеческих жертв и материального ущерба. ■

## Литература

1. Малик Л.К. // Пробл. регион. экологии. 2001. №1. С.53—62.
2. Малые реки России / Под ред. Н.И.Коронкевича. М., 1994.
3. Садовский С.И. // Гидротехн. стр-во. 1997. №7. С.1—3.
4. Алтунин В.С., Дмитрук В.И., Панкратов В.Ф. // Гидротехн. стр-во. 1988. №9. С.28—31.
5. Бобков С.Ф., Боярский В.М. и др. // Гидротехн. стр-во. 1999. №4. С.2—9.
6. Шванштейн А.М. // Гидротехн. стр-во. 1999. №5. С.15—21.
7. Семенов А.И. // Гидротехн. стр-во. 1995. №6. С.38—46.
8. Львовский В.А., Фрумкин В.И. и др. // Гидротехн. стр-во. 1997. №8. С.38—42.
9. Гиргидов А.Д., Шилин М.Б. // Гидротехн. стр-во. 1999. №6. С.12—15.
10. Константинов А.Ф., Шеина Н.Я., Константинова М.А. // География и природ. ресурсы. 1998. №3. С.86—88.
11. Тайсаева В. // Возобновляемая энергия. 1998. №2. С.25.
12. Рубинштейн Г.Л., Стефанович Г.В. // Гидротехн. стр-во. 1998. №10. С.7—11.
13. Прудовский А.Н. и др. // Гидротехн. стр-во. 1999. №8/9. С.20.



# Сверхскопление Шепли — крупнейший архипелаг галактик

В.Г.Сурдин,

*кандидат физико-математических наук*

*Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга  
Москва*

Усилия многих астрономов в течение последних десятилетий направлены на то, чтобы согласовать два противоречивых факта из истории Вселенной. С одной стороны, в раннюю космологическую эпоху материя заполняла пространство чрезвычайно однородно, о чем свидетельствует высочайшая изотропность приходящего к нам на Землю вестника той эпохи — реликтового микроволнового излучения, угловые флуктуации яркости которого не превышают 0.001%. С другой стороны, в современной нам Вселенной вещество распределено крайне неоднородно: оно собрано в звезды, галактики и скопления галактик, образующие иерархию гравитационно связанных объектов. Чтобы согласовать эти два факта, нужно понять, как из практически однородного вещества сформировалась весьма сложная наблюдаемая структура Вселенной. Какие силы и какое вещество играли в этом процессе определяющую роль?

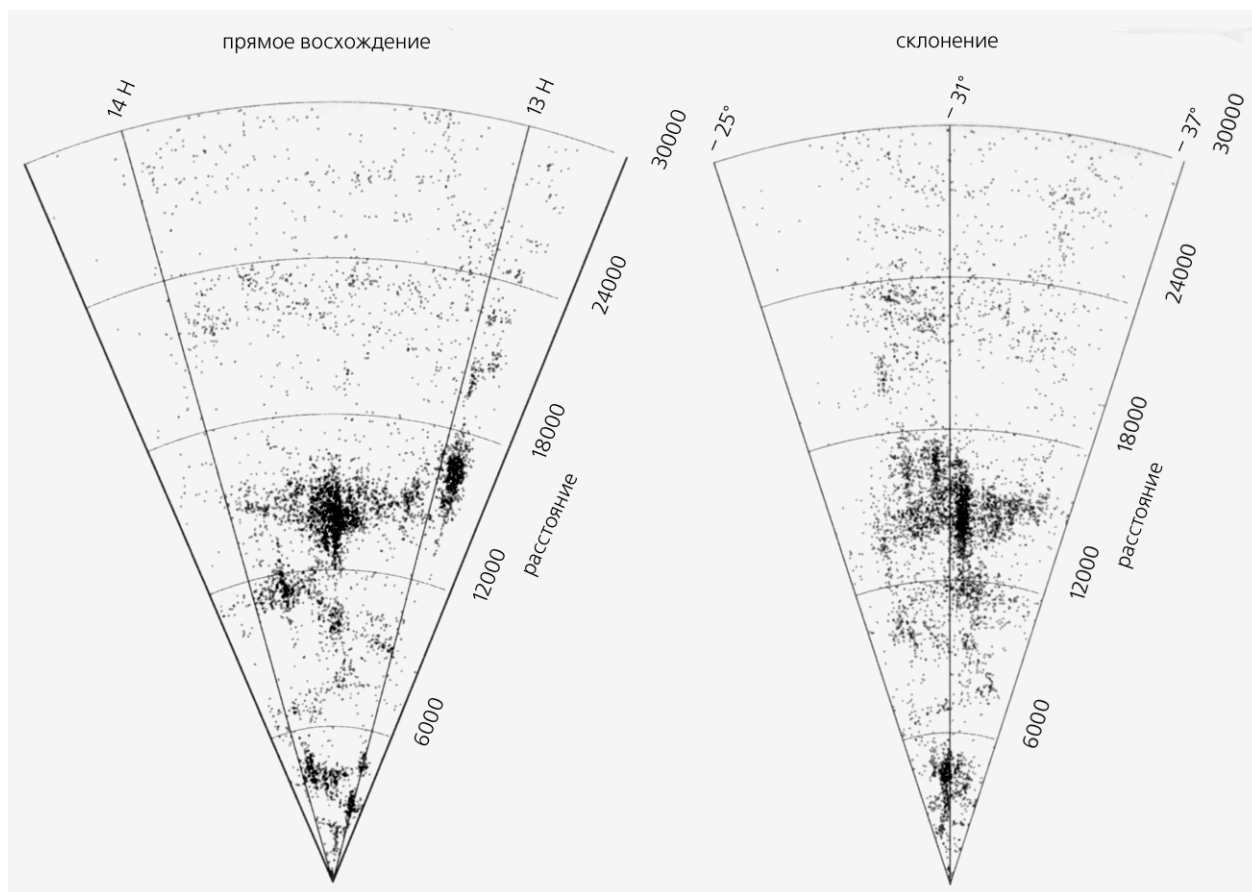
Найти ответы помогает изучение крупнейших космических структур — сверхскоплений галактик, находящихся вблизи поворотной точки своей истории, когда вещество от космологического расширения переходит

к сжатию под действием собственной гравитации и к формированию устойчивых структурных единиц. В близкой к нам окрестности Вселенной, до расстояний, где красное смещение в спектрах галактик не превышает  $z = 0.1$ , крупнейшим наблюдаемым образованием является Сверхскопление Шепли — гигантская система галактик, масса которой в тысячи раз превышает массу нашего Млечного Пути. За последнее время астрономы существенно продвинулись в изучении этого своеобразного звездного архипелага. Но почему именно он так привлекает внимание ученых?

Измерение реликтового излучения в разных направлениях на небе показало, что на фоне средней интенсивности излучения, имеющего чернотельную температуру  $T = 2.73$  К, наблюдаются два полюса с плавным переходом между ними. В направлении на созвездие Льва регистрируется теплый полюс, где температура излучения на 3.5 мК выше средней, а в противоположном направлении (на созвездие Водолея) — прохладный полюс, где она на столько же ниже средней. Наличие такой дипольной вариации температуры с амплитудой чуть более 0.1% не противоречит тому, что было сказано выше о высокой однородности реликтового излуче-

ния, поскольку эта вариация не имеет отношения к самому излучению, а лишь отражает движение наблюдателя по отношению к нему (согласно эффекту Доплера, в том направлении, куда движется Земля, интенсивность излучения выше, а в противоположном — ниже).

Многолетние наблюдения реликтового излучения легко выявляют годичное обращение Земли вокруг Солнца, чем еще раз и совершенно независимо подтверждают правоту Коперника. За пределом Солнечной системы также известны источники притяжения, вынуждающие Землю двигаться относительно реликтового излучения: вместе с Солнцем наша планета обращается вокруг центра Галактики, а сама Галактика движется под действием притяжения ближайших звездных систем. Астрономы уже подробно изучили наше ближнее внегалактическое окружение: вместе с более крупной спиральной галактикой в созвездии Андромеды — известной Туманностью Андромеды — и еще двумя дюжинами более мелких галактик наша Галактика входит в состав так называемой Местной группы галактик, отделенной от прочих звездных систем весьма приличным расстоянием. Учет движения нашей Галактики относительно других чле-



Распределение галактик в двух взаимно перпендикулярных проекциях, развернутых по небесным координатам — прямому восхождению (угловые часы,  $1^h = 15^\circ$ ) и склонению (градусы). В основании конусов — Земля. Расстояние указано в единицах лучевой скорости (км/с), определенной по красному смещению линий в спектре галактики. Угловые расстояния на рисунке в несколько раз преувеличены.

нов Местной группы показал, что последняя движется относительно реликтового излучения как целое со скоростью 635 км/с в направлении центра созвездия Гидры. Естественно ожидать встречи по курсу с ближайшим крупным скоплением галактик, но оно, как известно, находится в созвездии Девы, под углом около  $45^\circ$  к направлению «полета» Местной группы. Где же тогда источник притяжения — загадочный аттрактор, заставивший Местную группу галактик довольно быстро «плыть» в море реликтового излучения?

В 1990-е годы астрономы, казалось, нашли этот аттрактор, обнаружив изрядное скопление

галактик в направлении созвездий Гидры и Кентавра. На рисунке это Сверхскопление Гидры-Кентавра располагается вблизи основания конусов, на расстоянии около  $c \cdot z = 3000$  км/с от нас (большие межгалактические расстояния астрономы предпочитают указывать непосредственно в значениях точно измеряемой скорости удаления объектов; эта скорость, как доказал Э.Хаббл, пропорциональна расстоянию, но коэффициент пропорциональности — постоянная Хаббла — до сих пор измерен не очень точно). Однако дальнейшие наблюдения показали, что Сверхскопление Гидры-Кентавра движется в общем потоке с Местной группой галактик под

действием притяжения еще более далекого и массивного аттрактора.

Только тогда астрономы вспомнили, что еще в 1930 г. известный американский исследователь Харлоу Шепли (1885—1972) указывал на «облако галактик в Кентавре, которое выглядит одним из самых населенных среди обнаруженных до сих пор и имеет форму овала размером около  $2.8^\circ \times 0.8^\circ$ ». В центре этой области находится очень богатое скопление галактик Шепли-8, отождествленное с рентгеновским источником SC 1326-311 и ныне более известное как скопление Abell 3558. Нужно заметить, что данную область неба, имеющую

склонение около  $-30^\circ$ , весьма сложно изучать из обсерваторий Северного полушария, поэтому сведения об ее далеких галактиках на этом участке неба накапливались очень медленно. Но за последние годы при помощи 3,6-метрового телескопа Европейской южной обсерватории в Чили и 2,5-метрового телескопа обсерватории Лас Кампанас (там же) астрономы измерили на том же участке координаты и скорости нескольких тысяч галактик и смогли наконец изучить их расположение в пространстве и взаимное движение [1].

Выяснилось, что Шепли был прав: в направлении созвездия Кентавра, близ его границы с созвездием Гидры, присутствует гигантское уплотнение вещества, вобравшее в себя множество скоплений галактик и отдельных звездных систем. Разные исследователи называли его Сверхскоплением Кентавра, Альфа-областью, но в последнее время остановились на названии — Сверхскопление Шепли. Его расстояние от нас около  $c \cdot z = 14000$  км/с (т.е. около 200 Мпк или 650 млн св. лет), а угловой диаметр в несколько раз превышает размер лунного диска. Чтобы понять меру ответственности Сверхскопления Шепли за быстрое движение окружающих его галактик, в том числе и нашей, необходимо определить массу этой гигантской супергалактической структуры.

Казалось бы, простая задача: достаточно подсчитать количество галактик в сверхскоплении и умножить их число на массу типичной галактики. Но этот способ не годится, поскольку кроме галактик в сверхскоплении есть и невидимое межгалактическое вещество, причем в количестве большем, чем сосредоточенное в галактиках. О пол-

ной массе сверхскопления можно судить только по силе его тяготения. Но как ее оценить? Согласно второму закону Ньютона, действующей на галактику силе пропорционально ее ускорение, но мы пока научились измерять лишь скорости галактик. Впрочем, иногда бывает достаточно знать скорость. Например, скорость движения спутника вокруг Земли ( $V = 8$  км/с) и радиус его орбиты ( $R = 6500$  км) дают нам достаточные данные для вычисления массы планеты ( $M = RV^2/G$ ,  $G$  — гравитационная постоянная). Но это лишь в том случае, когда спутник движется по стационарной орбите. Если скопление звезд достигло стационарного состояния, то по скоростям отдельных звезд можно судить о полной массе их скопления; то же справедливо и в отношении скоплений галактик.

Однако применить этот способ к Сверхскоплению Шепли астрономы не решились. Дело в том, что самые крупные структуры Вселенной еще не достигли стационарного состояния. Наблюдения реликтового излучения показали, что в раннюю космологическую эпоху амплитуда флуктуаций плотности материи уменьшалась с ростом масштаба. Поэтому первыми из общего однородного фона выделились самые мелкие уплотнения, масштаба шаровых звездных скоплений. Их космологическое расширение быстро остановилось и перешло к сжатию, вызвав формирование в них звезд. Во Вселенной, имеющей критическую плотность (как наша Вселенная), такое образование перестает расширяться, когда его плотность примерно в шесть раз превышает среднюю. Поэтому давно уже перестали расширяться и достигли стационарного состояния шаровые

скопления, галактики, скопления галактик и даже центральные области сверхскоплений, но не их периферия, где плотность вещества лишь немного превышает среднюю плотность Вселенной. Эти малоплотные области еще продолжают свое расширение, хотя уже и не такое быстрое, как наиболее разреженные области нашего мира. В далеком будущем периферия сверхскоплений также перестанет расширяться и даже немного сожмется, перейдя к устойчивому состоянию. Но в нашу эпоху к сверхскоплению в целом еще нельзя применять описанный выше простой метод измерения массы, требующий стационарности всей системы.

Чтобы решить проблему, А.Рейзенеггер и его коллеги создали компьютерную модель нестационарного Сверхскопления Шепли и, используя все данные о наблюдаемых в нем галактиках и скоплениях галактик, оценили его полную массу. В пределах радиуса в 11,4 Мпк, охватывающего большую часть сверхскопления, его масса составляет  $(2-13) \cdot 10^{15} M_\odot$ , что соответствует средней плотности сверхскопления от 3 до 20 средних плотностей Вселенной. Пока большей точности получить не удастся, но и этот результат весьма важен. Расчеты показывают: чтобы притяжением к Сверхскоплению Шепли объяснить быстрое движение Местной группы галактик относительно реликтового излучения, масса сверхскопления должна была бы составлять около  $3 \cdot 10^{17} M_\odot$ , т.е. быть в десятки раз выше измеренной. Следовательно, хотя астрономы выяснили строение крупнейшего архипелага галактик в местной области Вселенной, проблема загадочного аттрактора все еще не решена. ■

## Литература

1. *Reisenegger A., Quintana H., Proust D., Slezak E.* The ESO Messenger. 2002. №107. P.18—23.



# Лауреаты Нобелевской премии 2002 года

По физике —  
Р.Дэвис, М.Кошиба, Р.Джиаккони

**Н**обелевская премия по физике за 2002 г. присуждена одному японскому и двум американским ученым за открытия, благодаря которым возникли новые области науки — нейтринная астрофизика и рентгеновская астрофизика.

Рэймонд Дэвис младший (Raymond Davis Jr.) и Масатоши Кошиба (Masatoshi Koshihira) удостоены самой престижной международной награды за свой «вклад в астрофизику, связанный, в частности, с детектированием космических нейтрино».

Р.Дэвис родился в 1914 г. в Вашингтоне (США). Закончил Университет Мериленда в 1940 г., ученую степень по физической химии получил в 1942 г. в Йельском университете (Коннектикут). С 1942 по 1946 г. служил в американской армии, с 1948 г. работал в Брукхейвенской национальной лаборатории, затем — в Пенсильванском университете (с 1985 г.). Сейчас является почетным профессором факультета физики и астрономии Университета Пенсильвании (Филадельфия).

М.Кошиба, уроженец Японии (1926), окончил Токийский университет (1951), а в аспирантуре учился в США, в Университете Рочестера (Нью-Йорк), где в 1955 г. защитил диссертацию по физике. С 1970 по 1987 г. был

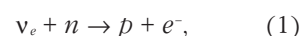
профессором физического факультета Токийского университета. В настоящее время — почетный профессор Международного центра физики элементарных частиц при этом университете.

Проблема регистрации нейтрино от Солнца, которую решили впервые Р.Дэвис и М.Кошиба (последний подтвердил и дополнил результаты эксперимента Дэвиса), имеет длительную историю\*.

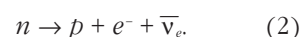
Впервые на реальную возможность зарегистрировать нейтрино указал Б.М.Понтекорво в 1946 г. До этого подобная задача представлялась совершенно невыполнимой из-за чрезвычайно слабого взаимодействия нейтрино с веществом. Так, средняя длина свободного пробега нейтрино с энергией несколько МэВ в плотном веществе превышает  $10^{19}$ – $10^{20}$  см, т.е. в миллионы раз больше расстояния от Земли до Солнца. Понтекорво заметил, что мощными источниками нейтрино, наряду с Солнцем, могут быть недавно созданные ядерные реакторы и даже ускорители. Интенсивный поток нейтрино от них позволяет зарегистрировать единичные акты реакций, вызываемые нейтрино, в достаточно большом детекторе.

\* Подробнее об этом см.: Бакал Дж. Нейтринная астрофизика. М., 1993.

Для детектирования нейтрино он предложил радиационно-химический метод детектирования нейтрино, заключающийся в следующем. Нейтрино (точнее, электронное нейтрино  $\nu_e$ ) может вызывать на нейтронах, входящих в ядра мишени, реакцию



обратную реакции бета-распада:



Если реакция (1) приводит к образованию радиоактивных ядер, которые можно извлечь из мишени и, смешав с нерадиоактивным изотопом соответствующего элемента, поднести к чувствительному детектору, есть шанс зарегистрировать буквально единичные акты реакции образования радиоактивных ядер по их распаду и таким образом — нейтрино.

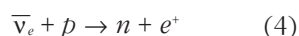
Для этих целей Понтекорво рассмотрел в 1946 г. реакцию



порождающую радиоактивные атомы аргона-37. Данный метод имеет замечательные достоинства: во-первых, атомы аргона не вступают в химическую реакцию с веществом и поэтому их можно извлечь из мишени, содержащей сотни тонн жидкого соединения хлора, продувая ее гелием в смеси с обычным аргоном; во-вторых, время полураспада радиоак-

тивного  $^{37}\text{Ag}$  (~34 сут) достаточно для его накопления и анализа; в-третьих, необходимый изотоп  $^{37}\text{Cl}$  содержится в природном хлоре в приемлемой концентрации (~24%). Для выделения актов распада  $^{37}\text{Ag}$  на фоне посторонней (природной) радиоактивности Понтекорво в 1949 г. специально изобрел так называемые *пропорциональные счетчики*. Их использование стало одним из главных факторов, определивших успех Дэвиса.

Создание в 50-х годах больших сцинтилляционных детекторов сделало возможным прямое детектирование реакции



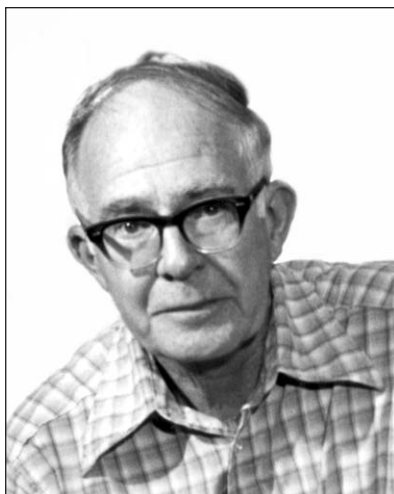
вблизи ядерного реактора, от которого благодаря бета-распадам (2) осколков ядерного деления урана (обогащенных нейтронами) исходят именно *антинейтрино*. Это и осуществили в 1956 г. Ф.Райнес, Нобелевский лауреат 1988 г., и К.Коуэн, что стало первой экспериментальной регистрацией антинейтрино (хотя в первой публикации авторы ошибочно занизили вдвое вероятность взаимодействия нейтрино с протонами).

Следует отметить, что реакции (1) и (4) являются обратными по отношению к бета-распаду (2) и должны обязательно осуществляться при достаточной для них энергии, тогда как реакция  $\bar{\nu}_e + n \rightarrow p + e^-$  и, следовательно,  $\bar{\nu}_e + ^{37}\text{Cl} \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e^-$  могут происходить на реакторных антинейтрино только в случае, если антинейтрино тождественно совпадают с нейтрино.

В отличие от реактора, Солнце — мощный источник не *антинейтрино*, а *нейтрино*, поскольку в центральных областях нашего светила вследствие цепочки различных ядерных реакций происходит синтез гелия:



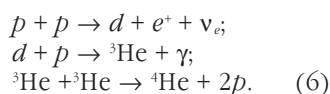
Последняя реакция, в которой выделяется энергия  $Q \approx 26.7$  МэВ, и есть источник солнечной энергии. С величиной  $Q$  напрямую связан полный поток



Р.Дэвис

солнечных нейтрино на Земле (он равен удвоенному отношению солнечной постоянной  $q \approx 8.53 \cdot 10^{11}$  МэВ·см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> к энергии  $Q$  и составляет  $\sim 6 \cdot 10^{10}$  см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>).

В начале 50-х годов считалось, что процесс (5) осуществляется в основном за счет так называемого *pp*-цикла с образованием на промежуточных стадиях ядер дейтерия ( $d$ ) и  $^3\text{He}$ :



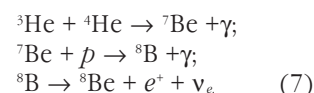
При этом максимальная энергия излучаемого нейтрино составляет 0.4 МэВ и оно оказывается недоступным для регистрации хлор-аргонным методом (поскольку энергетический порог реакции (3) — 0.814 МэВ). Правда, была возможность того, что синтез (5) частично идет за счет известного CNO-цикла, предложенного Г.Бете, когда на промежуточных этапах образуются ядра  $^{13}\text{N}$  и  $^{15}\text{O}$ , испускающие нейтрино с максимальными энергиями 1.2 и 1.7 МэВ. Однако при солнечных температурах вклад CNO-цикла в энергетику Солнца предполагался незначительным, и поэтому на первую установку Дэвиса, содержащую 3875 л жидкого перхлорэтилена ( $\text{C}_2\text{Cl}_4$ ), не возлагали особых надежд в плане детектирования солнечных нейтрино. Тем не менее со-



М.Кошиба

здание и испытание ее вблизи атомного реактора в 1956 г. привело к важному физическому результату: было доказано, что на реакторных антинейтрино реакция (3) не происходит, в то время как в опытах Райнеса и Коуэна наблюдается реакция (4). Тем самым *впервые* было экспериментально доказано, что антинейтрино отличается от нейтрино.

В 1958 г. произошло событие, имевшее решающее значение для постановки опытов по регистрации солнечных нейтрино. Выяснилось, что вероятность ядерных реакций между ядрами  $^3\text{He}$  и  $^4\text{He}$  примерно в 1000 раз больше, чем предполагалось ранее. В.Фаулер и А.Камерон сразу же обратили внимание Дэвиса на этот результат, указав, что в цепочке реакций *pp*-цикла может быть ответвление:



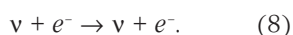
При распаде образующихся в нем ядер бора-8 возникают нейтрино с максимальной энергией 15 МэВ (доступные для регистрации хлор-аргонным методом, хотя доля реакций (7) с образованием  $^8\text{B}$  составляет в *pp*-цикле лишь 0.02%). Первоначальные теоретические оценки потока «борных» нейтрино

из-за недостаточно точного знания вероятностей ядерных реакций в цепочке (6)–(7) (а также реакции  $e^- + {}^7\text{Be} \rightarrow {}^7\text{Li} + \nu_e$ , конкурирующей с образованием ядер  ${}^8\text{B}$ ) оказались в несколько раз завышенными. Это, однако, сыграло счастливую роль, способствовало финансированию эксперимента Дэвиса.

Установка Дэвиса, содержащая  $3.785 \cdot 10^5$  л (615 т) жидкого  $\text{C}_2\text{Cl}_4$ , была размещена в золоторудной шахте Хоумстейк на глубине 1455 м для защиты от фона, создаваемого космическими лучами (данные о космическом фоне под землей были предоставлены Г.Т.Зацепиным и О.Г.Ряжской). Первые результаты эксперимента, опубликованные в 1968 г., показали, что скорость реакции (3) не превышает трех *солнечных нейтринных единиц* — SNU (единица SNU, предложенная Дж.Бакалом, соответствует одному акту взаимодействия в секунду, приходящемуся на  $10^{36}$  атомов мишени). С 1971 г. установка Дэвиса начала регистрировать реакцию (3), происходящую под воздействием солнечных нейтрино. Эксперименты, продолжающиеся 30 лет, показали, что скорость реакции составляет в среднем 2.5 SNU: при наличии в установке  $2 \cdot 10^{30}$  ядер  ${}^{37}\text{Cl}$  она соответствует скорости генерации в мишени одного атома  ${}^{37}\text{Ar}$  примерно за двое суток (или регистрации одного акта распада  ${}^{37}\text{Ar}$  за одну-две недели). Полученное значение оказалось приблизительно в три раза меньше, чем предсказывала теория на основе Стандартной модели Солнца после уточнения ядерных констант. Тщательные контрольные измерения, в том числе прямые измерения эффективности извлечения радиоактивных атомов  ${}^{37}\text{Ar}$  из мишени (которая оказалась практически равной 100%), уменьшение числа фоновых событий (до четырех событий в год!) не изменили полученных экспериментальных данных.

Они были подтверждены в другом независимом эксперименте на установке Камиокан-

де-2, проведенном японскими физиками во главе с Кошибой. Этот эксперимент был основан на прямой регистрации нейтрино по его рассеянию на электронах мишени:



В качестве мишени использовалась вода общим весом 3000 т. Для регистрации солнечных нейтрино служили 680 т воды во внутренней части резервуара. Электроны, получившие достаточно большую энергию ( $>7$  МэВ) в результате процесса (8), регистрировались по их черенковскому излучению большими фотоумножителями на стенках резервуара. Установка была размещена под землей, в металлорудной шахте Камиока вблизи Токио, на глубине 1000 м. Непосредственная регистрация нейтринных событий имела ряд достоинств: во-первых, направление вылета электронов доказывало, что объект, вызывающий их появление, летит от Солнца; во-вторых, по спектру энергии электронов можно было сделать заключение о спектре испускаемых нейтрино; в-третьих, принципиальное значение имела временная привязка событий. Последнее сыграло важную роль при регистрации нейтринного потока, возникшего от вспышки сверхновой в 1987 г. в Большом Магеллановом Облаке, на расстоянии приблизительно 150 000 св. лет от Земли. Поток нейтрино оказался скоррелирован по времени со вспышкой сверхновой и наблюдался в течение 12 с, когда было зарегистрировано 12 событий с энергиями электронов от 7 до 35 МэВ. (Одновременно этот поток был зарегистрирован на установке IMB в соляной шахте в штате Огайо и на Баксанской нейтринной обсерватории, но, к сожалению, часы всех трех лабораторий не были достаточно точно синхронизированы). Регистрация нейтрино от сверхновой 1987 г. подтвердила основные теоретические представления о механизме

вспышки и позволила установить ряд ограничений на характеристики нейтрино (его массу, магнитный момент и др.).

Возвращаясь к детектированию солнечных нейтрино, необходимо сказать, что оба эксперимента имели фундаментальное значение, доказав, с одной стороны, термоядерную природу солнечной энергии и поставив, с другой стороны, проблему дефицита в потоке солнечных электронных нейтрино. Решение этой загадки, наметившееся в последние два года, само по себе представляет открытие исключительной важности. Обнаруженный дефицит солнечных нейтрино мог быть связан как с несовершенством наших представлений о строении Солнца, так и с особыми свойствами нейтрино. Все это породило множество гипотез и потребовало дальнейших экспериментальных исследований.

На пути разрешения проблемы важное значение имел галлиево-германиевый радиохимический эксперимент, предложенный В.А.Кузьминым. Благодаря тому что реакция



с образованием радиоактивного ядра  ${}^{71}\text{Ge}$  имеет низкий энергетический порог (0.233 МэВ), она оказывается доступной для детектирования основного потока солнечных нейтрино от реакции  $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e$ . Совместный российско-американский эксперимент SAGE, проведенный под руководством Г.Т.Зацепина и В.Н.Гаврина с использованием 60 т галлия, а также эксперимент GALLEX европейской коллаборации в лаборатории Гран-Сассо (Италия) на 30 тоннах галлия доказали, что дефицит солнечных электронных нейтрино имеет место и для основного потока нейтрино. Тем самым было доказано, что дефицит не связан с моделью Солнца (поскольку полный поток нейтрино определяется только энергией Солнца). Поэтому причину дефицита солнечных нейтрино



следовало искать в свойствах самого нейтрино. Здесь также было высказано много гипотез, включая возможность распада самого нейтрино на его пути от Солнца, наличие магнитного момента нейтрино и т.д. Однако наиболее привлекательной представлялась гипотеза *осцилляции* нейтрино, а именно возможность процесса, при котором электронное нейтрино периодически переходит в нейтрино других типов и обратно. Предположение об осцилляции нейтрино—антинейтрино впервые высказал Понтекорво в 1957 г., сразу после упомянутых экспериментов Дэвиса 1956 г. на реакторных антинейтрино (когда еще предполагалось существование только одного типа нейтрино и его антинейтрино).

После экспериментов 1962 г., доказавших, что мюонное нейтрино, испускаемое, например, в процессе  $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$ , отличается от электронного нейтрино\*, естественно возникли идеи о возможности смешивания между этими типами нейтрино (такие идеи высказывали японские физики — М.Накагава, Хоконэги, С.Таката и А.Тойода в 1963 г.). В 1967 г. Понтекорво указал, что осцилляции  $\nu_e \rightleftharpoons \nu_\mu$  могут вдвое уменьшить ожидаемый в опытах Дэвиса поток солнечных нейтрино, поскольку мюонное нейтрино не обладает энергией, достаточной для протекания реакции  $\nu_\mu + {}^{37}\text{Cl} \rightarrow \mu^- + {}^{37}\text{Ar}$ . В 1969 г. в работе «Нейтринная астрономия и лептонный заряд» Понтекорво (совместно с В.Н.Грибовым) предложил простейшую (наиболее «экономную») теорию осцилляций  $\nu_e \rightleftharpoons \nu_\mu$ . Позже он отметил, что при наличии  $N$  поколений лептонов и осцилляций между ними скорость образования  ${}^{37}\text{Ar}$

может уменьшиться в  $N$  раз. Таким образом, после открытия третьего лептона ( $\tau$ -лептона) и соответствующего ему тау-нейтрино ( $\nu_\tau$ ) можно было ожидать, что поток электронных нейтрино при максимальном смешивании уменьшится в три раза.

Экспериментально проверить указанную гипотезу можно благодаря тому, что, согласно единой теории электрослабых взаимодействий, мюонное и тау-нейтрино должны специфическим образом взаимодействовать с веществом мишени посредством так называемых *нейтральных токов*. Данное взаимодействие нейтрино с электронами и нуклонами атомных ядер происходит через нейтральный  $Z^0$ -бозон и должно приводить к рассеянию  $\nu_\mu$  и  $\nu_\tau$  на электронах и нуклонах с передачей им некоторой доли своей энергии. При этом, правда, вероятность взаимодействия таких нейтрино с электронами примерно в шесть-семь раз меньше, чем для  $\nu_e$ , так как последнее может взаимодействовать с электронами не только посредством нейтрального, но и заряженного тока через заряженный  $W^-$ -бозон:  $\nu_e + e^- \rightarrow W^- \rightarrow \nu_e + e^-$ . В силу этой малости вклад  $\nu_\mu$  и  $\nu_\tau$  в процесс (8) при сравнительно небольшом числе зарегистрированных актов реакции было трудно с уверенностью выделить, хотя уже в установке Камиоканде-2 было замечено, что дефицит в потоке солнечных нейтрино, наблюдаемый в процессе (8), несколько меньше, чем в хлор-аргонном эксперименте. Намного точнее данный факт удалось подтвердить в опытах на установке СуперКамиоканде, где гигантская водяная мишень была заключена в цилиндр с диаметром и высотой около 40 м. Решающими же стали эксперименты на канадской установке SNO (Нейтринная обсерватория Садбери), где мишенью служили 1000 т тяжелой воды. На этой

установке можно было *одновременно* наблюдать: процессы, вызываемые только заряженными токами ( $\nu_e + d \rightarrow p + p + e^-$ ); процессы, вызываемые только нейтральными токами ( $\nu + d \rightarrow p + n + \nu$ ); процесс (8), вызываемый нейтральными токами в случае  $\nu = \nu_\mu$  и  $\nu = \nu_\tau$  и смесью заряженных и нейтральных токов в случае  $\nu = \nu_e$ . При этом, используя частично результаты СуперКамиоканде, удалось выделить в процессах с нейтральными токами вклад нейтрино  $\nu_\mu$  и  $\nu_\tau$ . Оказалось, что при учете этого вклада общее число испущенных солнечных электронных нейтрино (частично перешедших в  $\nu_\mu$  и  $\nu_\tau$ ) хорошо согласуется со Стандартной моделью Солнца.

Таким образом, представляется, что загадка солнечных нейтрино наконец решена (хотя выводы требуют, разумеется, дальнейшей всесторонней проверки). Этот факт имеет важное значение для подтверждения существующих представлений об эволюции звезд, включая вспышки сверхновых. Но еще более фундаментально обнаружение осцилляций нейтрино, которое, несомненно, приведет к новым гипотезам и открытиям.

Детектирование солнечных нейтрино и нейтрино от вспышки сверхновой 1987 г. заложило основы нового плодотворного направления — *нейтринной астрономии*. Приветствуя заслуженное присуждение Нобелевской премии Рэймонду Дэвису младшему и Масатоши Кошибе за их открытия, вместе с тем испытываешь глубокое сожаление, что скончавшийся в 1993 г. Бруно Максимович Понтекорво, сделавший столь много для физики нейтрино вообще, и для детектирования солнечных нейтрино в частности, не смог разделить эту награду.

© Член-корреспондент РАН  
**С.С.Герштейн,**

Институт физики высоких энергий  
Протвино

\* За это открытие были удостоены Нобелевской премии (1995) авторы эксперимента Л.Ледерман, Дж. Штейнбергер и М.Шварц. Следует отметить, что на возможность экспериментального решения вопроса о различии электронного и мюонного нейтрино первым указал Понтекорво.

**Н**обелевская премия по физике за 2002 г. присуждена также американскому ученому итальянского происхождения Риккардо Джаккони (Riccardo Giacconi) «за пионерские изыскания в области астрофизики, приведшие к открытию космических источников рентгеновского излучения». Лауреат родился в 1931 г. в Генуе, защитил диссертацию в 1954 г. в Миланском университете. Впоследствии он работал в НАСА, был директором Института Космического телескопа им. Э. Хаббла, директором Европейской южной обсерватории. В настоящее время — президент Ассоциации университетов (Вашингтон, США). Его награждением отмечено еще одно из великих астрономических открытий, совершенных в 60–70-х годах ушедшего XX века.

*Рентгеновское излучение*, которое условно разделяют на мягкое (с энергиями фотонов от 50 эВ до 1 кэВ), среднее (оно же — классическое, 1–20 кэВ) и жесткое (20–500 кэВ), очень эффективно поглощается земной атмосферой, поэтому исследования неба в этой части электромагнитного спектра стали возможными лишь с появлением ракет. Первым объектом для таких исследований послужила корона нашего Солнца. В оптических лучах ее можно хорошо наблюдать в редкие моменты полных солнечных затмений. В конце 40-х годов в США благодаря успешным пускам ракет с соответствующей приемной аппаратурой было открыто рентгеновское излучение сильно разреженного коронального газа, нагретого до температуры порядка  $1-2 \cdot 10^6$  К. Напомним, что температура видимой в оптических лучах поверхности Солнца (солнечной фотосферы) — около  $6 \cdot 10^3$  К, и она не может обеспечить вклад в регистрируемый рентгеновский поток.

Как было обнаружено позже, рентгеновские изображения солнечной короны имеют слож-

ную, переменную во времени структуру, наблюдательные проявления которой скоррелированы с 11-летним циклом активности Солнца. Необычайно красивые и зрелищны «фотографии» короны в рентгеновских лучах. Не будем здесь обсуждать естественно возникающий вопрос о механизме нагрева ее вещества до столь высоких температур, тем более, что этот механизм пока полностью не выяснен. Отметим лишь то, что наличие у нашего светила горячей короны однозначно связано с существованием мощной зоны, где тепловая энергия из его недр выносится наружу конвективными движениями вещества. Большую роль в формировании наблюдаемых сложных корональных структур играют магнитные поля.

Рентгеновская светимость короны хотя и сильно варьирует, но в среднем составляет всего лишь одну миллионную часть оптической светимости Солнца. Поэтому в те далекие 40-е годы вопрос обнаружения горячих корон даже у самых близких звезд, находящихся на расстоянии порядка нескольких парсек от Солнечной системы, не стоял.

Исторически сложилось так, что следующим объектом для исследований в рентгеновском диапазоне была запланирована Луна. 18 июня 1962 г. небольшой коллектив ученых, состоящий из (тогда еще молодого) лауреата Нобелевской премии, его учителя — патриарха рентгеновской астрономии — Б. Росси, а также их коллег Г. Гурского и Ф. Паолини, реализовал ракетный проект, целью которого было зарегистрировать флуоресцентное рентгеновское излучение лунной поверхности, возбуждаемое фотонами и/или потоками заряженных частиц, которые идут от Солнца. Излучения от Луны обнаружено не было, однако, как это иногда случается в науке, результатом стало «незапланированное» открытие довольно яркого рентгеновского источника, находящегося

за пределами Солнечной системы в направлении на созвездие Скорпиона (Sco-X-1). Пройдет еще несколько лет, и в начале 70-х годов работа специализированного рентгеновского спутника «Uhuru» докажет, что с этим источником в нашу жизнь ворвались принципиально новые космические объекты — *аккрецирующие нейтронные звезды и черные дыры в двойных звездных системах*. А рентгеновское излучение лунной поверхности будет открыто позже (29 июня 1990 г.) с борта другого, более совершенного рентгеновского спутника «ROSAT».

Но пока вернемся в 60-е годы. При первом же запуске был обнаружен рентгеновский фон, изотропно распределенный по небу. В дальнейшем разные группы ученых (в основном из США) с помощью ракет, поднимавшихся на высоту 200 км, открыли несколько десятков космических источников рентгеновского излучения в классическом диапазоне энергий. В более жестком диапазоне наблюдения выполнялись и с помощью аппаратуры, установленной на гондолах высотных (до 40 км) аэростатов. Небольшая часть открытых источников была отождествлена с уже известными объектами на небе. Это прежде всего находящаяся в созвездии Тельца Крабовидная туманность и некоторые другие остатки сверхновых в нашей Галактике. Мощными генераторами рентгеновского излучения оказались необычно сильно излучающая в радиодиапазоне галактика NGC 5128 (Сен А), яркий в оптических лучах квазар 3С 273. Был зарегистрирован заметный поток рентгеновского излучения в направлении на скопление галактик в созвездии Девы.

Однако природа большей части рентгеновских космических источников (в том числе и самого первого Sco-X-1) некоторое время оставалась загадочной. Стало ясно, что для дальнейшего продвижения тробует-

ся создание специальных искусственных спутников Земли, оснащенных рентгеновским оборудованием. В США при НАСА для этих целей организуется научная фирма «American Science and Ingeenering Inc». Работы по созданию таких спутников в этой фирме и возглавил Джиаккони. Первый спутник был запущен 12 декабря 1970 г. с итальянской платформы Сан-Марко, плавающей у берегов Кении, на почти круговую орбиту с высотой около 550 км. День запуска совпал с днем празднования независимости Кении; в честь этого события спутник назвали «Ухуру» («Uhuru»), что на языке суахили означает «Свобода». Спутник работал до конца 1973 г., и результаты оказались поистине феноменальными. Прежде всего на порядок возросло число известных космических рентгеновских источников — в заключительном каталоге «Uhuru» их содержится уже 339. Появилась рентгеновская карта неба, которая показала, что наиболее яркие источники концентрируются в направлении к галактической плоскости и к области галактического центра. Но самое важное открытие состояло в том, что около десятка таких объектов оказались компонентами *двойных звездных систем*.

Методами оптической наземной астрономии было обнаружено, что соседними компонентами у этих источников являются обычные звезды, интенсивно теряющие вещество со своей поверхности. Типичные значения периодов орбитального обращения двойных рентгеновских систем — несколько земных суток. Среди этих источников встречаются как рентгеновские пульсары с периодами следования импульсов от долей секунды до нескольких сот секунд, так и объекты, в потоке рентгеновского излучения которых периодическая компонента отсутствует. Рентгеновские источники в этих системах оказались очень компактными телами с харак-

терными размерами излучающих областей не больше нескольких десятков километров. Вместе с тем из анализа динамики вращения двойных систем был сделан вывод, что значения масс компактных объектов — порядка массы Солнца  $M_{\odot}$  и больше. Единственно возможными кандидатами на их место оказались нейтронные звезды и черные дыры, мощное рентгеновское свечение которых вызвано процессом дисковой аккреции на них вещества, утерянного соседней обычной звездой.

В двойной системе вещество, истекающее из нормальной звезды и падающее на компактный объект, имеет относительно последнего угловой момент, который препятствует падению вещества вдоль прямой. Вокруг компактного объекта формируется аккреционный диск. В первом приближении вещество такого диска вращается по круговым кеплеровым орбитам. При наличии эффективной вязкости, которая обусловлена турбулентностью и/или магнитными полями, в дифференциально вращающемся кеплеровском диске начинается процесс перераспределения углового момента между соседними слоями, который приводит к медленному продвижению вещества по радиусу диска к тяготеющему центру. При этом выделяется гравитационная энергия; часть ее и испускается с поверхности диска в виде электромагнитного излучения. Его свойства прежде всего зависят от скорости аккреции — темпа поступления вещества в диск с поверхности соседней звезды. Расчеты показывают, что количество выделяемой в диске энергии растет по мере приближения к компактному объекту. Внутренние части аккреционных дисков вокруг черных дыр разогреваются до температур в десятки (а то и сотни) миллионов градусов. При таких температурах практически вся выделяемая энергия приходится на рентгеновский диапазон. Непосредственно



Р.Джиаккони

вблизи черных дыр гравитационное поле становится настолько сильным, что вещество в этой области начинает падать чрезвычайно быстро, не успевая выделить заметную энергию.

Для удаленного наблюдателя аккреционные диски и вокруг нейтронных звезд, не обладающих сильными магнитными полями, и вокруг черных дыр проявляются схожим образом. Однако вблизи поверхности подобных нейтронных звезд образуется пограничный слой, в котором выделяется дополнительная энергия. У черных дыр такой поверхности нет! С другой стороны, масса нейтронной звезды не может быть больше некоторого критического значения ( $\sim 3M_{\odot}$ ), поэтому уверенно отождествить аккрецирующие черные дыры удастся в тех системах, где есть шанс определить массу компонентов. Первым кандидатом в черные дыры оказался яркий рентгеновский источник в созвездии Лебедя (Cyg X-1), в потоке рентгеновского излучения которого отсутствует строго периодическая компонента. Его масса оценивается в  $10M_{\odot}$ . К настоящему времени известно более десятка аккрецирующих черных дыр в двойных рентгеновских системах с надежно определенными



массами. А вот первый, открытый в созвездии Скорпиона, источник Sco X-1 оказался слабо замагниченной аккрецирующей нейтронной звездой.

Если аккрецирующая нейтронная звезда обладает сильным магнитным полем ( $10^{10}$ — $10^{12}$  Гс), это поле разрушает аккреционный диск на достаточном удалении от ее поверхности. Далее вещество начинает падать на нейтронную звезду вдоль магнитных силовых линий и встречается с ее поверхностью вблизи магнитных полюсов. Именно там и происходит выделение гравитационной энергии, большей частью в рентгеновском диапазоне. При наличии вращения такая нейтронная звезда будет наблюдаться как рентгеновский пульсар с периодом следования импульсов, равным периоду вращения или половине этого периода (в зависимости от ориентации оси вращения пульсара относительно наблюдателя). Первые детально изученные рентгеновские пульсары, которые представляют собой аккрецирующие нейтронные звезды с сильным магнитным полем из двойных систем, были открыты с борта «Uhuru» в созвездиях Геркулес (Her X-1) и Кентавр (Cen X-3). В настоящее время число известных нейтронных звезд, проявляющих себя как аккрецирующие рентгеновские источники в двойных системах, исчисляется десятками.

Наряду с белыми карликами, открытыми еще в начале XX в., нейтронные звезды и черные дыры представляют собой конечные продукты звездной эволюции. Вращающиеся нейтрон-

ные звезды были обнаружены как источники строго периодического радиоизлучения с периодами следования импульсов порядка нескольких секунд в 1967 г. группой английских ученых, возглавляемой Э.Хьюишем (за четыре года до полета «Uhuru»). Эти радиопульсары оказались нейтронными звездами с сильным магнитным полем ( $10^{10}$ — $10^{12}$  Гс). У данных объектов наблюдается вековое замедление следования импульсов, т.е. уменьшение их угловой скорости вращения и соответственно уменьшение их вращательной кинетической энергии. Именно эта энергия и есть резервуар наблюдаемой активности нейтронных звезд-радиопульсаров. Те же нейтронные звезды ведут себя как аккрецирующие рентгеновские пульсары, если на их поверхность выпадает вещество. В этом случае источником наблюдаемой активности становится выделение гравитационной энергии падающего вещества. Обычно светимость аккрецирующих пульсаров в сотни тысяч, миллионы раз больше, чем светимость радиопульсаров.

За прошедшие 30 лет с момента запуска на околоземную орбиту спутника «Uhuru» реализованы десятки новых проектов для исследования неба в рентгеновском диапазоне, во многих из которых принимал участие Джаикони. Например, для Рентгеновской обсерватории им.А.Эйнштейна он сконструировал специальный телескоп с зеркалами косоугольного падения, позволяющий не просто регистрировать рентгеновское излучение, а получать изображение

источника. В ходе выполнения многочисленных наблюдений открыты сотни тысяч новых источников самой различной природы. Были зафиксированы горячие короны у других звезд. Благодаря рентгеновскому свечению аккреционных дисков обнаружены сверхмассивные черные дыры в ядрах активных галактик и квазарах. Особо следует отметить реализованный в 90-х годах в России проект «Гранат» (научный руководитель — академик РАН Р.А.Сюняев), который, в частности, положил начало исследованию микроквazarов, т.е. компактных рентгеновских источников в нашей Галактике с мощными релятивистскими джетами, излучающими преимущественно в радиодиапазоне.

Сейчас на околоземных орбитах успешно работают крупные рентгеновские обсерватории «Chandra» (чей запуск был инициирован лауреатом), «XMM-Newton», «RXTE», «HETE-2». 17 октября 2002 г. на эллиптической орбите вокруг Земли российской ракетой «Протон» была выведена еще одна обсерватория «INTEGRAL» — для исследования неба в жестком рентгеновском диапазоне и гамма-лучах. Несомненно, что 30 лет назад рентгеновский спутник «Uhuru» открыл новую эру в изучении окружающего нас космического мира, и Риккардо Джаикони был здесь первопроходцем. ■

© Н.И.Шакура,

доктор физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга

Москва

## По химии — Дж.Б.Фенн, К.Танака, К.Вютрих

**Н**обелевская премия по химии за 2002 г. присуждена «за разработку методов идентификации и структурного анализа биологических макромолекул», причем два лауреата — американский химик Дж.Б.Фенн и японский инженер К.Танака — удостоены этой награды «за разработку метода мягкой ионизационной десорбции для масс-спектрометрического анализа биологических макромолекул», а третий лауреат — шведский химик-неорганик К.Вютрих — «за разработку ЯМР-спектроскопии для определения третичной структуры биологических макромолекул в растворе».

Коичи Танака (Koichi Tanaka) родился в 1959 г. в г.Тояма (Япония), окончил университет в Тохоку, работает инженером в корпорации «Шимадзу» в Киото.

Джон Б.Фенн (John B.Fenn) родился в 1917 г. в Нью-Йорке (США). В 1940 г. получил докторскую степень по химии, в 1987 г. — звание заслуженного профессора Яальского университета (штат Коннектикут). С 1994 г. преподает в Государственном университете Виргинии (г.Ричмонд, штат Виргиния).

В 50-х годах исследователи показали, что заряженные продукты (ионы), полученные разрушением исходной молекулы в вакууме пучком электронов, можно анализировать методом масс-спектрометрии и по результатам установить строение органического соединения. Тогда основным источником ионизации был электронный удар, а в ионную форму вещество переводили из газообразного состояния, нагрев пробу до 350–400°C. Поэтому анализ неустойчивых при нагревании и труднолетучих соединений представ-

лял определенные трудности. Позже анализируемые образцы химическим синтезом превращали в более стабильные соединения с повышенной летучестью, для ионизации использовали электронный пучок с энергией 70 эВ. Такие усовершенствования обеспечили хорошо воспроизводимые многолинейчатые масс-спектры, однако определить по ним строение неизвестных веществ было невозможно. Это походило на сборку глиняного горшка, разбитого на тысячи мелких осколков.

Дальнейшие исследования были направлены на поиск условий и создание масс-спектрометров, которые позволили бы изучать неустойчивые соединения без предварительной модификации, разрушать их на небольшое количество фрагментов и получать их молекулярные ионы и масс-спектры. Существенной модификации подвергался лишь источник ионов, где анализируемое вещество превращается в заряженные частицы, но опробовались и более мягкие методы: фотоионизация, полевая десорбция, химическая ионизация, бомбардировка быстрыми атомами, плазменная десорбция, лазерная десорбция/ионизация, ионизация при атмосферном давлении. Все эти методы применяются в современной масс-спектрометрии, с их помощью можно только получать (но не фрагментировать) молекулярные ионы для синтетических и природных органических соединений большинства классов.

Применение мягких методов ионизации анализируемых веществ привело к тому, что масс-спектрометрия потеряла свое значение как структурно-аналитический метод, она преврати-

лась в детектор молекулярных масс. Частично эта потеря была восстановлена, когда появился метод тандемной масс-спектрометрии, позволяющий фрагментировать молекулярный ион соударением его с молекулами инертного газа в специальной камере, которая устанавливается на пути движения иона к анализатору.

Использовать энергию лазера для испарения образца и его ионизации пытались несколько групп исследователей начиная с 80-х годов. Фокусируя узкий луч лазера на небольшой поверхности жидкого или твердого образца, удавалось перевести какое-то его количество в газообразное состояние без деградации. Русский исследователь В.С.Летоков впервые показал, что такой прием пригоден для ионизации небольших полярных молекул, таких как аминокислоты. В 1985 г. немецкие ученые М.Карас и Ф.Хилленкамп в Мюнстере (ФРГ) обнаружили, что используя некоторые абсорбирующие материалы, можно повысить летучесть полярных веществ небольшой молекулярной массы, однако эти условия не подходили для ионизации крупных молекул.

Через два года эту проблему разрешил К.Танака. Он показал, что для перевода таких высокомолекулярных белков, как хитотрипсиноген (25717 Да), карбоксипептидаза А (34472 Да) и цитохром С (12384 Да), в газообразное состояние и формирования ионов необходимо облучать образец лазером с низкой энергией. Танака использовал лазер с длиной волны 330 нм, которая не поглощалась ароматическими аминокислотами белков и пептидов, благодаря чему достигалась ми-



Дж. Б. Фенн

нимальная фрагментация макромолекул. Танака растворял анализируемые образцы в глицерине, содержащем коллоидные частицы, именно эта вспомогательная добавка обеспечила основной успех экспериментов. В англоязычной литературе подобную добавку называют матрицей. И хотя матрица Танаки не нашла широкого применения, идею подхватили многие исследовательские группы, в результате был создан метод матрично-активированной лазерной десорбции и ионизации. Основное требование к матрицам — они должны иметь максимумы поглощения близкие к длине волны используемого лазера. В современных масс-спектрометрах чаще применяется азотный лазер с длиной волны 337 нм. Матрицами для белковой химии служат оксо- и гидроксипроизводные бензойной, коричной и никотиновой кислот.

Комбинация лазерного источника ионизации с времяпролетным масс-анализатором привела к созданию масс-спектрометров, позволяющих определять молекулярные массы до 500 кДа. Большой вклад в повы-



К. Танака

шению разрешающей способности времяпролетных масс-анализаторов внесли русские ученые Б.А. Мамырин, предложивший использовать режим отражения, и А.Ф. Додонов, впервые применивший ортогональный ввод ионов образца. Идеи этих ученых широко используются зарубежными фирмами при изготовлении современных масс-спектрометров для рынка.

В основе работ другого нобелевского лауреата — Дж. Фенна — лежит теория образования заряженных ионов при распылении образца в электрическом поле, разработанная М. Доле в 1968 г. по результатам экспериментов, проведенных Дж. Зелени в 1917 г. Принципиальное отличие такого метода ионизации в том, что в масс-спектрометр вводится не образец для его последующего перевода в газообразное состояние и ионизации, а готовый ион, образующийся в специальной приставке. Она представляет собой пульверизатор, на выходную иглу которого подается напряжение в несколько тысяч вольт, и в зависимости от параметров эксперимента и типа прибора формируются либо кластеры

анализируемого соединения с молекулами растворителя, либо «голый» ион вещества, а в случае белков — целый ряд многозарядных ионов.

В лаборатории Фенна в Яле в 1984 г. электропульверизатор был впервые соединен с масс-спектрометром, и четыре года спустя американский химик доложил, что по масс-спектрам многозарядных ионов пептидов и белков можно определять их молекулярные массы с точностью 0.01%. Исследования в Яле были начаты сразу после публикации в 1984 г. работы русских ученых — М.Л. Александрова, Л.Н. Галля, В.Н. Краснова и др. — по ионизации веществ при атмосферном давлении.

Последующее развитие метода ионизации распылением в электрическом поле направлено на повышение его чувствительности, сокращение объемов анализируемых растворов за счет уменьшения скорости распыляемого потока с десятков микролитров в минуту до нанолитров. По сравнению с методом матрично-активированной лазерной десорбции и ионизации, разработанным Танакой, метод Фенна более трудоемок и менее производителен, но в сочетании с тандемной масс-спектрометрией дает максимум информации об анализируемом белке, особенно если его строение не известно.

Нобелевская премия — достойная оценка заслуг Танаки и Фенна, давших возможность одному из самых информативных методов инструментального анализа — масс-спектрометрии — изучать жизненные процессы или, как это теперь называют, протеомику. ■

© С.Е. Есипов,

доктор химических наук, профессор  
Институт биоорганической химии  
им. М.М. Шемякина  
и Ю.А. Овчинникова РАН  
Москва



**К**урт Вютрих (Kurt Wüthrich) родился 4 октября 1938 г. в г.Ааберг (Швейцария). В 1962 г. закончил университет в Берне и получил диплом лиценциата по специальности химия-физика-математика. Затем методом ЭПР-спектроскопии изучал комплексы металлов в университете Базеля, где в 1964 г. получил степень доктора философии. В 1965–1967 гг. работал в Калифорнийском университете (Беркли, США) и, изучая комплексы ванадия, впервые познакомился с мощностью ЯМР-спектроскопии. С 1967 г. и по настоящий день Вютрих разрабатывает методы ЯМР-спектроскопии для исследования пространственной структуры белков в растворе. Сначала в лабораториях США, а по возвращении в Швейцарию — в отделе биологии Высшей федеральной технической школы в Цюрихе. Здесь он прошел все ступени научной карьеры — от приват-доцента до профессора (1980). Согласно законам Швейцарии, профессор по достижении 65-летнего возраста должен уйти на пенсию. Однако Вютрих, полный физических сил и творческих замыслов, уже перебрался в Калифорнию (США), сохранив лабораторию в Швейцарии (она будет существовать до середины 2003 г.). В отделе структурной биологии Института Скриппса он организовал новую группу для исследования пространственной структуры и функции сигнальных клеточных белков высокоскоростными ЯМР-методами. Сегодня благодаря усилиям Вютриха, его учеников и коллег ЯМР-спектроскопия превратилась в мощнейший метод, призванный расшифровать многие тайны живой природы.

Нобелевский комитет присуждает уже третью премию за работы, связанные с ЯМР-спектроскопией, причем второй премией в 1991 г. награжден соотечественник Вютриха Р.Эрнст (см. об этом: Природа. 1992. №1. С.96–99). Вместе с ним нынешний нобелевский лауреат с 1975 г. работал над расшиф-

ровкой третичной структуры белков в растворе методом двумерной ЯМР-спектроскопии, а с середины 80-х годов — трехмерной ЯМР-спектроскопии. Поэтому многие специалисты считали, что уже тогда оба швейцарца заслуживали Нобелевской премии. Но понадобилось еще 11 лет, чтобы заслуги Вютриха признали официально. Правда, за это время в его лаборатории были расшифрованы третичные структуры нескольких десятков белков, усовершенствованы многие эксперименты и найден способ изучения пространственной структуры крупных (до 10 кДа) белковых комплексов, находящихся в растворе.

Первый белок, чья третичная структура была установлена в 1983 г., состоял всего из 35 аминокислотных остатков. В клетке же существуют и гораздо большие молекулы и даже огромные белковые комплексы. Однако исследовать их методом ЯМР-спектроскопии не удавалось. Дело в том, что с увеличением размера макромолекулы ее вращение замедляется пропорционально массе и вязкости среды. В результате сигналы в спектре ЯМР уширяются и наконец становятся настолько широкими, что структурную информацию не удается получить. Проблему несколько ослабили хитрости, связанные с помещением белков в обращенные мицеллы, которые в свою очередь находились в переохлажденном органическом растворителе с низкой вязкостью. Использовались и другие подходы, в том числе разделение сложных белков на домены. Но все это работало в исключительных случаях и не позволяло применять ЯМР-спектроскопию для систем с молекулярной массой, превышающей 50–100 кДа.

Решение было найдено в лаборатории Вютриха. В 1997 г. вместе с коллегами он опубликовал схему экспериментов, по которой можно было оптимизировать релаксацию, т.е.



К.Вютрих

при определенных, созданных в опыте, условиях взаимно уничтожать вклады в релаксацию от диполь-дипольных взаимодействий и от анизотропии химического сдвига. Через два года Вютрих предложил использовать передачу поляризации с помощью кросс-коррелированной релаксации. Потенциально обе идеи должны были обеспечить работу с очень большими молекулярными системами, общая масса которых превышала 1000 кДа. Это теоретически уравнивало возможности ЯМР-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа по размерам исследуемой системы, но сохраняло непревзойденные способности первого метода давать информацию о динамике, а значит, и о механизмах работы сложных макромолекулярных машин. В 2002 г. Вютрих получил спектры ЯМР высокого разрешения от комплекса белков с молекулярной массой 900 кДа.

В настоящее время ЯМР-спектроскопия позволяет исследовать пространственную структуру макромолекул в растворе, т.е. если еще и не в физиологических условиях, то по крайней мере близких к ним. С помощью этого метода можно проследить за «жизнью» каждого атома не только отдельной макромолекулы, но даже целых молекуляр-

ных комплексов. Никаким другим способом нельзя проследить за сложной динамической картиной, которую представляют собой функционирующие молекулы. В ходе этого процесса его участники могут менять свою конформацию в зависимости от ситуации, чтобы обеспечить оптимальное взаимодействие с партнером. И только ЯМР-спектроскопия дает информацию о таких событиях. Это в корне отличает метод от прежних подходов, когда из сложной системы выбиралась одна или две молекулы, исследовалась их пространственная структура и делались выводы о возможной связи между пространственной структурой и функцией.

Изучить такую связь в живой клетке — значит понять, каким образом хитросплетение специфических взаимодействий между разнообразными макромолекулами создает удивительное явление — жизнь.

Сейчас примерно 20% пространственных структур, представленных в белковом банке данных, получено методом ЯМР. Что же дальше? Достиг ли метод своих пределов в исследовании структуры и функции макромолекул? Или мы вправе ожидать новых достижений этого метода, изменившего лицо традиционной химии 60—70-х годов и биохимии макромолекул 80—90-х? Видимо, да. Уже начаты работы, позво-

ляющие получать спектры от белков, находящихся в самой клетке. Не исключено, что через 10—15 лет с помощью спектроскопии ЯМР будет построена трехмерная атомная модель живой клетки. Возможны и новые, совершенно неожиданные области применения этого удивительного метода. Без сомнения, лаборатория нынешнего нобелевского лауреата К.Вютриха внесет вклад в развитие ЯМР-спектроскопии в 21-м столетии. ■

© А.С.Арсеньев,

доктор химических наук, профессор  
Институт биоорганической химии  
им.М.М.Шемякина  
и Ю.А.Овчинникова РАН  
Москва

## По физиологии и медицине — С.Бреннер, Х.Р.Хорвиц, Дж.Салстон

7 октября 2002 г. Нобелевский комитет по физиологии и медицине в Каролинском институте Стокгольма объявил о присуждении премии С.Бреннеру (S.Brenner), Х.Р.Хорвицу (H.R.Horvitz) и Дж.Салстону (J.Sulston) «за открытие в области генетической регуляции развития органов и запрограммированной смерти клетки».

Тот факт, что онтогенез находится под генетическим контролем, вряд ли мог кого-то удивить даже в далекие уже 70-е годы ушедшего XX в. Такой контроль должен был быть, и нашел его Бреннер, старейший из новых лауреатов (1927 г. рождения). Двое других «нобелевцев», Хорвиц (1947 г. рождения) и Салстон (1942 г. рождения), открыли «гены смерти». Это событие действительно потрясло образованную публику, привык-

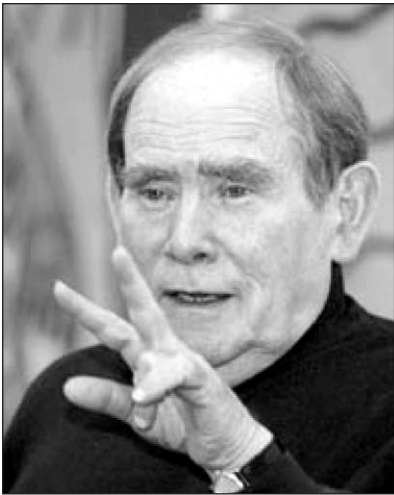
шую считать, что в живом организме все призвано поддерживать жизнь и бороться со смертью.

Давно уже было очевидно, что онтогенез невозможен без ликвидации отдельных клеток, участков тканей и даже целых органов, возникающих на определенных этапах индивидуального развития, чтобы затем исчезнуть при формировании взрослого организма. Неясно было лишь, происходит такая ликвидация посредством фагоцитоза или каким-то другим, пока неизвестным путем.

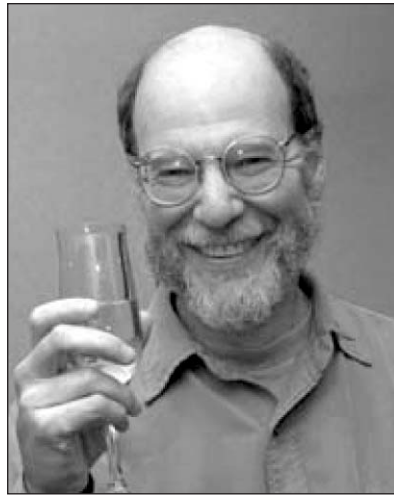
Несомненные заслуги лауреатов в чисто методическом плане. Еще в 70-е годы Бреннер предложил работать на «червячке» — теперь уже весьма знаменитой нематоде *Caenorhabditis elegans*, а его коллеги продемонстрировали огромные преимуществ

нового объекта биологических исследований. Дело в том, что эта нематода очень мала (длиной около 1 мм), совершенно прозрачна и живет всего пару недель. Вот почему сравнительно просто удается проследить судьбу каждой из составляющих ее 959 клеток — от оплодотворенной яйцеклетки вплоть до взрослой особи. Применяв нехитрый мутаген (метилэтансульфонат), Бреннер получил мутации, останавливающие развитие отдельных этапов онтогенеза, и идентифицировал гены, ответственные за них.

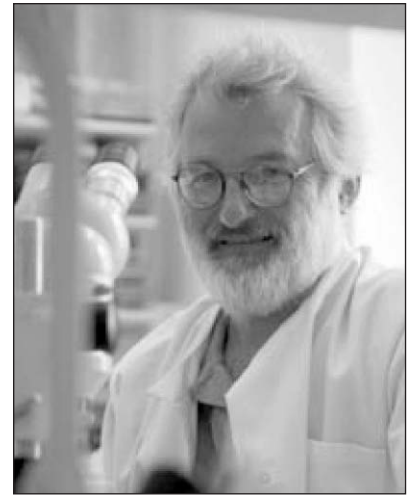
Салстон обратил внимание на то, что взрослая нематода должна была бы состоять из 1090, а не 959 клеток, т.е. 131 клетка исчезает в ходе онтогенеза. Было высказано предположение, что эти клетки погибают,



С.Бреннер



Х.Р.Хорвиц



Дж.Салстон

встав на путь запрограммированной смерти (апоптоза). Салстон идентифицировал первый ген клеточного самоубийства — *unc-1*, необходимый для деградации ДНК в умирающей клетке.

В те же 70-е Хорвиц продолжил исследование Бреннера и Салстона на *C.elegans*. В результате большой серии опытов (публикации 1986 г.) он открыл гены *ced-3* и *ced-4*, необходимые для клеточного самоубийства. Впоследствии Хорвиц описал также ген *ced-9*, удерживающий клетку от этого трагического шага, пока ее час не пробил, и нашел соответствующие гены у высших животных и человека. Здесь аналогами *ced-3* и *ced-4* оказались гены, кодирующие одну из апоптозных протеаз (каспаз) и фактор 1, активирующий апоптозную протеазу (Араф-1). Что касается гена *ced-9*, то его человеческий аналог кодирует антиапоптозный белок Bcl-2.

Все нынешние лауреаты начинали свои исследования в Кембридже (Великобритания). Затем жизнь разбросала бывших коллег: Бреннер уехал в Беркли (США), Хорвиц променял английский Кембридж на американский, в Бостоне,

и лишь Салстон остался верен своей *alma mater*.

По существу все три отмеченные премией работы послужили основой для дальнейших опытов других исследователей, показавших, что способность к запрограммированной смерти есть неотъемлемое и обязательное свойство любой клетки любого многоклеточного существа. Про- и антиапоптотические гены имеются в каждой из таких клеток, а роль апоптоза далеко не ограничивается его участием в онтогенетическом развитии. У высших организмов им выбраковываются: клетки, где повреждена ДНК или другие жизненно важные системы; клетки иммунной системы, образующие антитела к собственным белкам; «бездомные» клетки, случайно оказавшиеся вне своей родной ткани, и т.д.

Доказательство того факта, что клетка располагает механизмом самоубийства, вновь поднимает вопрос, поставленный еще Августом Вейсманом в конце XIX в.: не может ли смерть организма от старости быть следствием включения определенной программы. Как писал Ф.Пешоа, «мы способны увидеть только то, что уже где-

то однажды видели». Традиционное неприятие Вейсмана классическими дарвинистами может быть теперь поколеблено доказательством его правоты по меньшей мере на клеточном уровне. Справедливость его парадоксальной идеи, что смерть изобретена эволюцией как один из способов адаптации сообщества организмов к меняющимся внешним условиям, получила прямое подтверждение на одноклеточных организмах — бактериях и дрожжах, у которых недавно были описаны механизмы запрограммированной смерти. У дрожжей этот механизм оказался очень похожим на апоптоз клеток высших животных.

Запрограммированная смерть — один из главных механизмов, защищающих нас от рака и аутоиммунных заболеваний. В то же время он участвует в развитии инфаркта, инсульта, септического шока и, видимо, старения организма. Научившись управлять этим процессом, можно получить реальный шанс в радикальной борьбе с недугами, которые служат основными причинами смерти людей. ■

© Академик В.П.Скулачев



# Новости науки

## Астрофизика

### Черные дыры в шаровых скоплениях

На сегодняшний день найдены более или менее достоверные свидетельства существования черных дыр лишь двух видов: «звездных» черных дыр — компактных невидимых компонентов двойных звезд с массами порядка нескольких масс Солнца ( $M_{\odot}$ ) — и скрывающихся в галактических ядрах сверхмассивных черных дыр с массами в миллионы и миллиарды солнечных. Неоднократно сообщалось об открытии и третьей разновидности — черных дыр промежуточных масс (от сотен до десятков тысяч  $M_{\odot}$ ), но во всех случаях масса оценивалась по яркости связанного с дырой рентгеновского источника, а надежность подобных оценок в последнее время подвергается сомнению. Две группы ученых из США утверждают, что с помощью Космического телескопа им. Э.П. Хаббла им удалось найти более весомое подтверждение реальности существования черных дыр промежуточной массы. Доказательством стали движения звезд в плотных ядрах шаровых скоплений.

Группой, возглавляемой Р. ван дер Марелом (R. van der Marel; Институт космического телескопа, США), была обнаружена черная дыра в центре шарового скопления M15 (созвездие Пегаса), удаленного от нас на 32 тыс. св. лет. Даже на таком гигантском расстоянии ученым удалось различить в ядре скопления отдельные звезды и по спектрам измерить их лучевые скорости. По этим данным авторы работы определили, как орбитальная скорость звезд зависит от расстояния до центра скопления, и установили, что звезды

движутся в поле тяготения невидимого компактного тела с массой 4000  $M_{\odot}$ . Современной астрофизике известен лишь один тип объектов, которые обладают такими свойствами, — это черные дыры.

Группа под руководством М. Рича (M. Rich; Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе, США) обнаружила черную дыру массой 20000  $M_{\odot}$  в гигантском шаровом скоплении G1, находящемся в 2.2 млн св. лет от нас, в галактике Туманность Андромеды<sup>1</sup>. В данном случае говорить о наблюдениях отдельных звезд уже не приходится, и вывод о наличии черной дыры был сделан на основе анализа интегральных спектральных свойств ядра скопления.

Открытие черных дыр в ядрах шаровых скоплений нельзя назвать неожиданным. Их поисками астрономы занимаются уже несколько десятилетий. Интересно то, что черные дыры в шаровых скоплениях, как оказалось, следуют закономерности, установленной для сверхмассивных дыр в галактических ядрах: их массы, согласно наблюдениям на том же «Хаббле», составляют приблизительно 0.5% от массы родительской галактики. То же соотношение выполняется и в скоплениях M15 и G1, хотя по масштабам они уступают галактикам в десятки тысяч раз. Вероятно, между массами звездной системы и черной дыры в ее центре имеется фундаментальная связь, природа которой может пролить свет на образование структур во Вселенной.

© Д.З. Виббе,

кандидат физико-математических наук  
Москва

<sup>1</sup> Gebhardt K., Rich R.M., Ho L. // *Astrophys. J. (Letters)*. 2002. V.578. PL41; Gerssen J. et al. // *Astronomic. J.* 2002. (В печати.) Препринт astro-ph/0209315.

## Астрономия

### Двойной астероид вблизи земной орбиты

Американские ученые, возглавляемые Дж.Л. Марго (J.L. Margot; Калифорнийский технологический институт), детально исследовали радиолокационными методами астероид 2000 DP 107, который был открыт 29 февраля 2000 г. коллективом Линкольнской лаборатории при Массачусетском технологическом институте. Многие его параметры долгое время оставались неизвестными, ясно было только, что орбита этого «близкоземельного» тела проходит всего в 0.045 а.е. от траектории нашей планеты, т.е. не далее чем в 19 расстояниях от Земли до Луны<sup>1</sup>.

Теперь, используя крупнейшие радиотелескопы Голдстон (Калифорния) и Аресибо (Пуэрто-Рико) с их декаметровая разрешающей способностью, группа Марго собрала интереснейшие данные. Оказалось, что астероид 2000 DP 107 не единое целое, а двойная система, оба компонента которой вращаются вокруг общего центра масс, совершая один оборот за  $1.755 \pm 0.007$  сут. Диаметр основного тела примерно 800 м, а его спутника — около 300 м. Расстояние между ними 2 км. Общая масса этой небольшой системы при плотности около  $1.7 \text{ г/см}^3$  составляет  $4.6 \cdot 10^{11} \text{ кг}$ , так что, столкнувшись она с Землей, — и последствия оказались бы катастрофическими.

Двойные астероиды — не столь уж большая редкость. В 2001 г. при изучении 300 таких астероидов существование собственных ма-

<sup>1</sup> См. также: Сколько астероидов угрожает Земле? // *Природа*. 2002. №9. С.80—81; Астероид угрожает // Там же. №12. С.72.

лых спутников было установлено у шести. Двойными оказались и давно известные астероиды №87 (Сильвия) и №22 (Каллиопа). Ученые не исключают возможность обнаружения у некоторых малых тел Солнечной системы и третьих, и даже большего числа спутников.

Существование двойных близкоземельных астероидов объяснило старую загадку: почему на Земле и на Луне кратеры, оставшиеся после столкновения с ними, иногда образуют близко лежащую пару. Стало ясно также, почему при наблюдении некоторых малых тел Солнечной системы их видимое излучение временами резко тускнеет: просто один компонент «прячется за спину» другого.

Science. 2002. V.296. №5572. P.1445 (США).

**Организация науки.  
Астрономия**

**Великобритания вступает в ESO**

В июле 2002 г. достигнут важный этап в объединении научных усилий астрономов мира. На состоявшемся в Лондоне собрании Совета Европейской южной обсерватории (European Southern Observatory, ESO) Великобритания вступила в число стран-членов одной из ведущих астрономических организаций мира. На официальной церемонии Королевский астроном сэра М.Риз (M.Rees) сказал: «Присоединение к ESO позволит Великобритании восстановить утраченные ею позиции в оптической астрономии и повысит шансы европейской науки на успешную конкуренцию с американскими учеными».

Европейская южная обсерватория была учреждена в 1962 г. правительствами Бельгии, Германии, Нидерландов, Франции и Швеции. В то время британские ученые возлагали большие надежды на 3,6-метровый Англо-Австралийский телескоп, находящийся в Австралии, и считали, что обойдутся в исследованиях южного неба собственными силами. Однако к концу XX в. стало ясно, что для

дальнейшего развития астрономической науки и техники усилий одной страны недостаточно. Поначалу Великобритания предполагала наращивать свое участие в ESO постепенно, но обсерваторию такой вариант не устроил. На дебатах в парламенте, посвященных этому вопросу, один из членов Палаты лордов с сожалением отметил, что, отказываясь от участия в ESO, Великобритания фактически закрывает себе дорогу к астрономическим исследованиям нового тысячелетия, поскольку «среди авторов замечательных открытий, которые будут сделаны с помощью VLT (Очень большого телескопа. — *Ред.*), не будет ни одного нашего астронома». Угроза такой перспективы действовала, и уже в мае 2000 г. британский Исследовательский совет по физике элементарных частиц и астрономии заявил о готовности Великобритании вступить в ESO наискорейшим образом; формальное согласие обсерватории было получено 3 декабря 2001 г.

Для британских астрономов вступление их страны в ESO означает облегченный доступ к основным и вспомогательным телескопам комплекса VLT, а также к другим телескопам ESO, расположенным на нескольких чилийских вершинах Анд. Предполагается, что Великобритания примет активное участие в проектировании и создании системы интерферометров миллиметрового диапазона ALMA (Atacama Large Millimetre Array) и станет одним из лидеров создания 100-метрового телескопа OWL (Overwhelmingly Large Telescope — Ошеломляюще большой телескоп).

За право пользования инструментами ESO Великобритания обязуется предоставить в распоряжение обсерватории свои интеллектуальные и технологические ресурсы, более чем на 20% финансировать ее ежегодный бюджет и покрыть часть предыдущих расходов. Доля Великобритании в бюджете ESO, как и доля других стран, рассчитана на основе валового национального продукта. Кроме того, Великобритания установит на обсер-

ватории Параналь (Чили) четырехметровый инфракрасный телескоп и предоставит ESO часть наблюдательного времени на инфракрасном телескопе UKIRT (UK Infrared Telescope), расположенном на Гавайских о-вах (США).

Всего теперь членами ESO являются 10 государств. Помимо Великобритании и стран-учредителей в их число входят Дания, Италия, Португалия и Швейцария.

The Messenger. 2002. №108. P.1 (ESO); <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-12-02.html>

**Физика атмосферы**

**Циркуляция в тропической атмосфере усиливается**

В 1998 г. был запущен американский искусственный спутник «Tropical Rainfall Measuring Mission»; двумя годами позже — другой спутник «Earth Observing System Terra». Оба были предназначены для изучения физических свойств облачности, а также энергии, излучаемой нашей планетой во внешнее пространство.

Выполненный в Колумбийском университете анализ полученных данных показал, что тепловое излучение Земли за период 1985—2000 гг. возросло более чем на 5 Вт с каждого квадратного метра поверхности<sup>1</sup> (причем большая часть роста приходится на время после 1990 г.). За тот же период в тропической области количество отраженной солнечной радиации упало менее чем на 2 Вт/м<sup>2</sup>.

Выяснилось, что изменения потоков энергии в очень малой степени зависят от воздействия явления Эль-Ниньо — Южная осцилляция. Обнаружены независимые долгосрочные вариации радиационного бюджета Земли. Данные, характеризующие влажность верхней атмосферы, облачность, температуру приповерхностного слоя воздуха и скорость его вертикальных движений, подтвердили гипотезу, согласно которой изменения

<sup>1</sup> Для справки: поток солнечной энергии, падающий на Землю, равен 1360 Вт/м<sup>2</sup>. — *Примеч. ред.*

в потоках энергии связаны с интенсификацией тропической конвективной циркуляции, происходящей в масштабе десятилетий. Влажность воздуха над океаном повысилась, что усилило его движение в конвективных экваториальных районах. Одновременно в некоторых субтропических областях и на экваторе климат стал суше и облачность уменьшилась.

Измерения температуры Мирового океана показывают, что в середине 1990-х годов произошло ее заметное повышение, вызванное, вероятно, сочетанием уже весьма длительного потепления Индийского океана и Атлантики с экстремально высоким накоплением тепловой энергии в Тихом океане за последние 10 лет.

Исследователи признают, однако, что с полной уверенностью обозначить механизм климатических перемен еще невозможно: слишком мала длительность спутниковых наблюдений за всеми этими эффектами.

Science. 2002. V.295. №5556. P.838 (США).

**Физика**

**Углеродные нанотрубки с борными нанобугорками**

Казалось бы, такие параметры углеродных нанотрубок, как высокое аспектное число (отношение длины к диаметру), большой мо-

дуль Юнга и низкая плотность, обещают их выгодное применение в качестве армирующих наполнителей композиционных материалов<sup>1</sup>. Однако слабая связь между относительно инертными углеродными нанотрубками и матрицей ограничивает механическую прочность композита. Многочисленные эксперименты показали, что нанотрубки при нагрузке выталкиваются из матрицы, а не разрушаются внутри нее. Исследовались различные способы улучшения прочности композита. Один из них — нанесение на нанотрубки металлических или оксидных покрытий — улучшает связь только с внешним слоем многостенных нанотрубок, в то время как взаимодействие между внутренними слоями по-прежнему определяется слабыми ван-дер-ваальсовыми силами. Под влиянием растягивающего напряжения целостность многостенных нанотрубок с покрытиями нарушается: внешний слой снимается, как футляр, поэтому нужно обеспечить связь с матрицей и внутренних слоев.

Для решения этой задачи было предложено использовать твердофазную реакцию между углеродными нанотрубками и бором<sup>2</sup>,

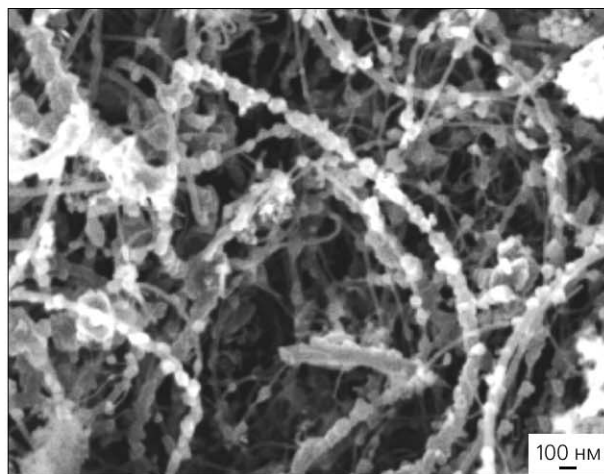
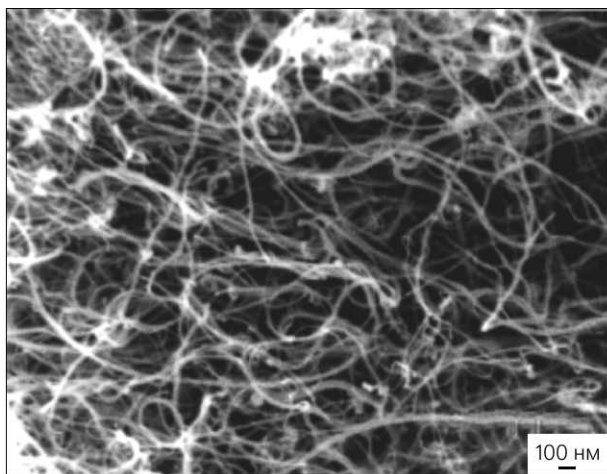
<sup>1</sup> Подробнее см.: Дьячков П.Н. Углеродные нанотрубки — материалы для компьютеров XXI века // Природа. 2000. №11. С.23—30.

<sup>2</sup> Lao et al. // Appl. Phys. Lett. 2002. V.80(3). P.500—502.

в результате которой на поверхности трубок образуются нанобугорки из карбида бора (B<sub>4</sub>C), прочно связывающие не только трубки с матрицей, но и внутренние слои нанотрубок. Выяснилось также, что изолированные нанобугорки предпочтительнее сплошного покрытия.

Карбид бора — соединение с ковалентным типом связи — по твердости уступает только алмазу и нитриду бора, к тому же обладает отличными механическими, термическими и электрическими свойствами. Реакция между бором и углеродной нанотрубкой четко локализована, поэтому основная структура многостенной нанотрубки остается неизменной. Поверхностной диффузии бора нет, граница между нанобугорками и углеродными нанотрубками резкая. Поскольку химическая связь между ними, по-видимому, тоже ковалентная, она предотвращает разрыв по границе раздела фаз при нагрузке.

В эксперименте многостенные углеродные нанотрубки получали методом химического осаждения паров. В качестве источника бора использовали MgB<sub>2</sub>. Обычно бор реагирует с углеродом при температуре выше 1300°C, но при разложении порошка MgB<sub>2</sub> (~600°C) образуется химически активный бор, взаимодействующий с углеродной нанотрубкой при более низких температурах. Нанотрубки осто-



Углеродные нанотрубки до (слева) и после (справа) образования бугорков.



можно перемешивали с порошком  $MgB_2$ , заворачивали в танталовую фольгу и подвергали термообработке в вакуумной печи при 1100–1150°C в течение 2 ч. В итоге появлялись борные нанобугорки средним размером около 80 нм (в 2–3 раза больше диаметра нанотрубок), расстояния между ними варьировали от 30 до 500 нм.

Можно ожидать, что многостенные углеродные нанотрубки с нанобугорками из карбида бора будут идеальными упрочняющими наполнителями. К сожалению, таких трубок получили пока недостаточно для исследования их механических свойств, но это станет возможным после оптимизации процесса синтеза.

<http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/>

## Электроника

### Когда графит предпочтительней алмаза

Алмазные пленки всегда считались перспективным источником электронов: благодаря присутствию их поверхности отрицательному сродству к электронам пороговая напряженность электрического поля, при которой возникает автоэлектронная эмиссия, составляет до 1–10 В/мкм (у металлов и полупроводников она равна  $10^3$ – $10^4$  В/мкм). Однако для получения стабильной эмиссии полевой катод должен быть изготовлен из материала с высокой электронной проводимостью, что современными алмазными технологиями пока недоступно.

Автоэлектронная эмиссия наблюдается также и в графите, причем плотность эмиссионного тока в уже реализованных катодах на основе графитоподобных материалов существенно больше, а пороговые напряжения меньше, чем в алмазных. Синтезировать же неалмазные углеродные материалы проще.

Группа ученых из Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова провела сравнительное исследование эмиссионных характеристик, а также структурных и других особеннос-

тей различных углеродных пленок — от поликристаллического алмаза до графита, — которые были получены методом химического осаждения из газовой фазы. Оказалось, что лучшие параметры (пороговая напряженность электрического поля 1.5 В/мкм, плотность эмиссионного тока 1 мА/см<sup>2</sup>, плотность эмитирующих центров  $10^6$ – $10$  см<sup>-2</sup>) имеют пленки из пластинчатых кристаллитов графита, ориентированных таким образом, что графитные базисные плоскости перпендикулярны поверхности подложки. В результате на поверхности катода образуется слой атомов с модифицированной электронной конфигурацией, которая позволяет существенно снизить работу выхода для электронов.

Журнал теоретической физики. 2001. Т. 71. С. 11 (Россия); <http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/>

## Техника

### Лазер «на квантовой шестеренке»

Лазеры микроскопических размеров нужны во многих областях, особенно — в системах оптоволоконной связи, где размер активной части лазера равен в идеале поперечнику оптического волокна. Однако в данном случае мешает то обстоятельство, что отношение объема активного элемента к площади его поверхности падает примерно пропорционально размеру элемента. Поскольку энергия накачки при прочих равных пропорциональна объему, а выход света через боковые поверхности составляет чистые потери, при дальнейшей миниатюризации они становятся лимитирующим фактором.

Некоторые рецепты, как избежать этих потерь, известны. Можно нанести на боковую поверхность дифракционную решетку так, чтобы свет максимально отражался обратно. Другой способ (он используется для лазеров в форме микроскопических дисков) — подобрать параметры таким образом, чтобы свет ходил по цилинд-

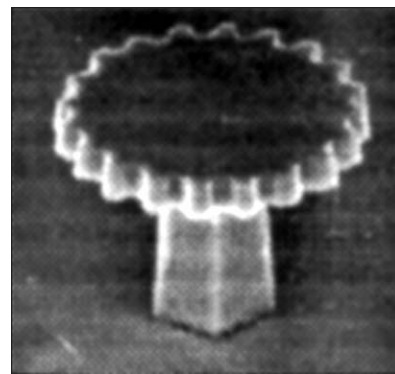


Фото лазера «на микрошестеренке», полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа.

рической поверхности внутри диска без затухания, как звук в знаменитой Пекинской галерее шепотов, иначе говоря, чтобы для боковой грани осуществлялось условие полного внутреннего отражения.

Оба подхода удалось совместить в одном приборе — в лазере «на микрошестеренке». Этот миниатюрный лазер, похожий также на шляпку гриба, оказался вполне функциональным. «Шляпка» представляет собой многослойную структуру из напряженных квантовых ям (5 нм), барьеров (1.2 мкм) и оптических согласующих слоев в системе GaInAsP. Максимум в спектре спонтанного излучения в такой структуре приходится при комнатной температуре на 1.55–1.58 мкм, что соответствует оптимальной длине световой волны для оптоволоконных применений. «Зубья шестеренки» формируются комбинацией нескольких методов литографии высокого разрешения; диаметр сплошной части 2.2–3.2 мкм, глубина выступов от 50 до 270 нм. Таким образом, на боковой поверхности нового лазера получается от 16 до 24 «зубьев», которые и создают отражающую решетку.

Испытание лазера «на квантовой шестеренке» проводилось при непрерывной оптической накачке диодным лазером с длиной волны 0.98 мкм. Возбуждающее излучение направляли непосредственно через «шляпку гриба». Генерация

была обнаружена на длине волны 1.60—1.67 мкм. Пороговая плотность накачки в новом лазере составляет 17 мкВт, что по крайней мере вдвое ниже, чем у дисковых микролазеров без «зубьев».

[http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/2\\_06/index.htm](http://perst.issph.kiae.ru/inform/perst/2_06/index.htm)

## Экология

### Что делать с радиоактивными отходами?

В апреле 2002 г. президент США Дж.Буш подписал документ, рекомендующий использовать недра под горой Юкка (штат Невада) для хранения 70 тыс. т высокоактивных отходов, скопившихся главным образом в результате эксплуатации коммерческих АЭС. Решение одобрено далеко не всеми. Так, власти штата Невада направили в Конгресс США официальный протест, рассмотрение которого по всем инстанциям займет, возможно, несколько лет. И это несмотря на продолжавшиеся свыше 15 лет исследования, предпринятые Министерством энергетики США, в ходе которых были изучены буровые колонки в районе горы Юкка общей длиной около 25 тыс. м и проанализированы 18 тыс. геологических и гидрологических образцов<sup>1</sup>.

В полемике по этому глгучему вопросу выступил ряд видных специалистов. Р.С.Юинг (R.C.Ewing; Университет штата Мичиган в Анн-Арборе) и Э.Макфарлейн (A.Macfarlane; Массачусетский технологический институт в Кембридже) считают, что президентское решение принято преждевременно, в частности потому, что нет данных о долгосрочном взаимодействии между атомными процессами и коррозионными явлениями в материалах, из которых изготовлены контейнеры для отходов. Неизвестны также масштабы возможной здесь в отдаленном будущем (десятки тысяч лет) вулканической активности, изменение климатических условий и т.п.

<sup>1</sup> Letter to President Bush from Secretary of Energy. 14 February, 2002.

Рекомендации Министерства энергетики основаны на утверждении, что доза облучения, которую смогут получать в течение... 10 тыс. лет люди, находящиеся в радиусе 20 км от хранилища, будет безопасной. Однако противники убеждены в обоснованности такого заключения. Косвенным признанием своей правоты они считают факт отказа от первоначального плана использовать естественные преграды распространению радионуклидов (геологические свойства окружающих пород) и положиться на искусственные инженерные сооружения, главным образом на металлические упаковки, изолированные от влаги специальными зонтичными щитами<sup>2</sup>.

Поспешные решения в пользу горы Юкка принимаются под давлением владельцев АЭС и властей тех штатов, на территории которых расположены временные хранилища радионуклидов; давление усугубляется опасениями возможных нападений со стороны террористов.

Science. 2002. V.296. №5568. P.659 (США).

## Организация науки. Социология

### Женщины в европейской науке

Известная правозащитная организация — Хельсинкская группа — проанализировала положение женщин-ученых в западноевропейских странах по данным конца 90-х годов. Оказалось, что ни в одной из этих, считающихся передовыми, стран представительницы слабого пола не составляют и половины сотрудников, занимающихся точными и естественными науками<sup>3</sup>. Правда, численность студентов обоих полов обычно сбалансирована, но в штатных расписаниях исследовательских учреждений пропорции уже совсем другие.

<sup>2</sup> См. также: В США заработало долговременное хранилище слаборадиоактивных отходов // Природа. 1999. №3. С.117; Радиоактивные отходы предполагается хранить в Нью-Мексико // Там же. 2000. №5. С.83—84.

<sup>3</sup> См. также: Роль женщин в науке мусульманских стран // Природа. 2001. №8. С.87—88.

В наилучшем положении неожиданно для многих оказались женщины-ученые в Португалии: в области естественных наук их число достигает 48%, а среди инженеров и техников с высшим образованием — около 29%. На втором месте Ирландия: здесь женская когорта составляет 44 и 25% соответственно.

Британцы отдали дамам 31% должностей в естественных науках и 14% в области инженерии. Почти такие же показатели в Италии. В Финляндии, Швеции и Франции среди физиков и химиков слабый пол составляет 39%, а среди инженеров от 17 до 19%. Германия с 14 и 9% соответственно занимает 10-е место (после Дании и Австрии), Бельгия с 11 и 2% стоит на предпоследней строке, а замыкают этот список Нидерланды: в их лабораториях женщин лишь 8%, а в инженерно-конструкторских бюро — едва ли 6%.

Министр по делам науки Португалии Л.Сильва (L.Silva) считает, что относительным успехам ее страны в деле равноправия полов способствует, в частности, рост государственных ассигнований на исследовательскую деятельность примерно на 10% в год. А Министерство образования Нидерландов видит причину несбалансированности в традиционном поведении самих молодых женщин: они предпочитают гуманитарные дисциплины.

Многие исследователи считают решением проблемы изменение учебных программ в технических вузах в сторону большей «междисциплинарности», что делает их более привлекательными для женщин.

Science. 2002. V.295. №5552. P.41 (США).

## Геофизика

### Последствия падения юкатанского астероида

Общепринят факт: 65 млн лет назад Земля столкнулась с небесным телом, диаметр которого около 10 км; удар от взрыва силой в 100 млн Мт пришелся на район, где ныне находится п-ов Юкатан,

но отозвался на развитии жизни всей планеты. Поднятые взрывом тучи пыли напрочь закрыли Солнце; без корма остались растительоядные животные, а за ними — и хищники. Такой сценарий отвергает американский геолог К.Поуп (К.Роу; Исследовательский центр компании «Geo Arg»). Он собрал и проанализировал имеющиеся данные о размерах и концентрации зерен кварца, которые обнаруживаются по всей Земле в слоях, относящихся ко времени катастрофы. Установлено, что размеры относительно крупных обломков резко уменьшаются по мере удаления от места столкновения — так и должно быть, если они выпадали из разносимых ветром облаков, а не просто были выброшены ударной волной.

Построенная Поупом математическая модель распространения частиц одними только ветрами подтвердила, что размеры и массы зерен кварца совпадают с их распределением в соответствующих геологических слоях, но это прослеживается лишь в случае, если общая масса выброшенных обломков относительно невелика. Приняв, что распределение частиц по их величине было примерно таким же, как и пепла при современных вулканических извержениях, исследователь пришел к выводу, согласно которому лишь менее 1% обломков имели субмикрометровые размеры. Следовательно, вся масса поднятой тогда в воздух пыли была на один-два порядка меньше, чем необходимо, чтобы, преградив путь солнечному излучению, прервать процессы фотосинтеза и погубить растительность. Вероятно, эту «тьму в полдень» можно сравнить с сегодняшним пасмурным зимним днем в средних широтах.

Если бы пыль действительно могла вызвать всеобщее вымирание, такие события должны были совершаться не раз за последние несколько сот миллионов лет — ведь в этот период времени Земля неоднократно сталкивалась с телами значительно более крупны-

ми. Поэтому геофизик К.Цанле (K.Zahnlé; Исследовательский центр Эймса НАСА США) поддерживает гипотезу, согласно которой причиной катастрофы являлась не пылевая завеса, а глобальные пожары, приведшие к задымлению всей планеты.

Если действительно не пыль служила непосредственной причиной гибели древней флоры и фауны, то следует признать, что последствия для природы от столкновений Земли с крупными объектами были до сих пор существенно завышены, а падение сравнительно мелких тел вообще не носит глобально катастрофического характера. Тем самым по-новому решается вопрос о степени опасности для человечества подобных космических событий. *Geology*. 2002. V.28. №12. P.1119 (США).

### Геофизика

#### Горячие точки оказались подвижными

Приверженцы теории плитовой тектоники считали, что источник, питающий магмой вулканы Гавайских о-вов, неподвижен. Плиты земной коры перемещаются над ним, а сам этот источник служит вехой таких перемещений, оставляя на земной поверхности след в виде вулканов. Специалисты насчитывали по всей планете до 40 горячих точек, в их числе: Гавайская, Йеллоустонская (на стыке штатов Вайоминг, Айдахо и Монтана), Исландская, на о-вах Питкэрн и Галапагос (первые — на юге, вторые — в центре Тихого океана). Но в последние годы среди геофизиков возникли сомнения относительно их полной неподвижности.

Проверка истинности первоначальных утверждений легла на палеомагнитологов. Известно, что магнитное поле Земли около экватора имеет горизонтальную направленность, на магнитных полюсах — вертикальную, а между ними — наклонную в той степени, в какой данная точка удалена от них. Так как изначально расплавленные вулканические породы, за-

стывая и отвердевая на поверхности, сохраняют направленность своего магнитного поля в «замороженном» состоянии, можно определить, на какой широте происходило извержение. Для Гавайской горячей точки ключевыми являются палеомагнитные характеристики в районе 19°с.ш. Задача собрать такие данные была поставлена перед участниками 197-го рейса «ДЖОИДЕС Резолюшн», который возглавляли палеомагнитологи Дж.Тардено (J.Tarduno) и Р.Данкен (R.Duncan).

Ранее (в 70-х и 90-х годах) палеомагнитные исследования проводились в северной части Тихого океана, у подводных гор Суико и Детройт. Уже тогда выяснилось, что эти возвышенности возникли более чем в 1 тыс. км к северу от нынешнего местонахождения Гавайской горячей точки, но немногочисленные тогда данные не смогли переубедить большинство геотектонистов. Теперь бурение осуществлялось по более совершенной методике в ключевых точках подводного Императорского хребта, простирающегося по дну Тихого океана почти строго на север от 30°с.ш. к западной оконечности Алеутской гряды.

На четырех подводных возвышенностях было в сумме пробурено 1200 м вулканических пород, лежащих под осадками. Располагая высококачественной информацией относительно ряда пунктов вдоль цепочки подводных гор, участники рейса, проведя первичный ее анализ, заключили, что Гавайская горячая точка в период с 81 по 43 млн лет назад действительно двигалась в южном направлении со скоростью 30—50 мм/год (это заметно быстрее, чем ныне дрейфует Северо-Американская плита). Недавно коллектив, возглавляемый Р.О'Коннеллом (R.O'Connell; Гарвардский университет, Кембридж) и Б.Стейнбергом (B.Steinberg; Университет штата Колорадо в Боулдере), построил компьютерную модель, которая воспроизводит механизм медленной конвекции мантийного вещества, вероятно, приводящий горячую точку в движение. Когда в мо-



дель ввели фактические данные, описывающие тихоокеанские плюмы, большинство из них отклонилось в южную сторону. Соответственно, сместилась и вершина плюма — горячая точка на земной поверхности. Скорость такого перемещения, согласно модели, должна составлять около 10 мм/год, что меньше величины, называемой Тардено и его коллегами, но сам факт подвижности горячей точки подтвердился.

В случае справедливости такого вывода находит новое объяснение факт резкого изгибания между 30 и 40° с.ш. тихоокеанской цепи подводных вулканов, где она из Гавайской переходит в Императорскую. До сих пор этот изгиб приписывали изменениям в направлении движения Тихоокеанской плиты, однако никаких доказательств тому найти не удалось. Ныне представляется, что изменилась направленность мантийных потоков, как это бывает при повороте столба дыма со сменой направления ветра.

На конференции Американского геофизического союза (Сан-Франциско, декабрь 2001 г.), посвященной этой работе, почти все выступавшие согласились с тем, что по крайней мере Гавайская горячая точка не стоит на месте, а движется со скоростями, близкими к дрейфу континентов. Палеомагнитолог Р.Батлер (R.Butler) замечает, что в случае признания подвижности горячих точек потребуются пересмотреть ход перемещения плит земной коры в прошлом. Так, при быстром смещении Гавайской горячей точки на юг «отменяется» дрейф давно исчезнувшей океанической плиты Кула в северном направлении вдоль западного побережья Северной Америки; во всяком случае, с той большой скоростью, которую называли, исходя из неподвижности горячих точек. Но ведь именно плита Кула, как полагали, принесла на себе обломки континента из области, находящейся на широте нынешнего п-ова Калифорния, и «прикрепила» их к современной канадской провинции

Британская Колумбия. Подобный сценарий отменяется, так как обломки континента не могли перемещаться со скоростью, требуемой данной гипотезой. Облегчается положение геомагнитологов, которые для объяснения некоторых наблюдаемых фактов вынуждены привлекать «блуждание» магнитных полюсов. Дискуссия из залов конференции, на которой присутствовало 8500 человек, выписывается на страницы научных журналов всего мира.

Science. 2002. V.295. №5553. P.261 (США).

## Геофизика

### Фигура Земли изменяется

Как известно, твердое тело Земли несколько сжато с полюсов (около 0.3%) и расширено по экваториальному радиусу, что вызвано вращением планеты вокруг собственной оси. Поскольку вращение замедляется лунными приливами, сжатие планеты, а вместе с ним и динамическая сплюснутость  $J_2$  (второй момент инерции) уменьшаются со временем. Это означает, что масса планеты перемещается из области экватора в более высокие широты, но очень медленно.

Впервые измерения  $J_2$  были проведены 20 лет назад американским геофизиком К.Ф.Йодером (C.P.Joder) и его коллегами, применившими спутниковый лазер; оказалось, что сплюснутость Земли линейно сокращается на  $3 \cdot 10^{-11}$ /год. В дальнейшем это подтверждалось в других экспериментах. К сегодняшнему дню изменения  $J_2$  прослежены в течение более 25 лет, и можно было бы сделать вывод об относительном постоянстве такого процесса, однако кроме замедления вращения планеты есть еще один фактор, влияющий на  $J_2$ , — это уменьшение нагрузки на земную кору при массовом таянии ледников в полярных широтах. С достаточной четкостью регистрируются также естественные сезонные колебания в поднятиях земной коры, связанные с перераспределением атмо-

сферных и океанических масс, происходящим по всей планете в течение года.

Однако недавно М.Кокс (С.М.Сох; компания «Raytheon Information Technology») и Б.Ф.Чاو (В.Ф.Чао; Центр космических полетов им.Годдарда НАСА США) показали, что изменения фигуры планеты происходят более сложно. Они использовали высокоточные лазерные геодезические измерения, которые выполнялись в 1979—2001 гг. с помощью аппаратуры, установленной на многочисленных спутниках. В итоге подтвердилось, что за большую часть этого периода  $J_2$  действительно постепенно сокращалось. Но с начала 1998 г. процесс неожиданно пошел в обратную сторону, причем весьма активно. Это означает, что масса стала перемещаться из высоких широт в более низкие.

Авторы обсуждают механизмы, которые в принципе могли бы приводить к подобным результатам. Например — таяние полярных ледяных шапок или альпийских ледников, однако это должно вызывать подъем уровня Мирового океана, что происходит далеко не в том масштабе, который необходим для наблюдаемого геодезического эффекта. Не подходят и сезонные «переливы» атмосферы из одного полушария в другое. Остаются лишь два возможных «виновника»: жидкое внешнее ядро планеты и океаны.

Кокс и Чао указывают, что примерно в 1999 г. нарушился вековой ход геомагнитного поля. Это могло повести к внезапному изменению в движении пород внешней жидкой части ядра планеты, за которым последовало и заметное изменение  $J_2$ . Сам факт такого «рывка» недавно был подтвержден геомагнитными наблюдениями.

Специалисты возлагают большие надежды на то, что начавшееся крупное геофизическое мероприятие GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment — Эксперимент по получению гравиметрических и климатологических данных). Запускаемые по этой программе спутники измеря-

ют перераспределение масс планеты с большой точностью, высоким пространственным разрешением (до 300 км) и временными масштабами от месяца до нескольких лет.

Science. 2002. V.297. №5582. P.783, 831 (США).

**Океанология.  
Космические исследования**

**«Jason» следит за Мировым океаном из космоса**

7 декабря 2001 г. с базы ВВС США Ванденберг на орбиту высотой 1336 км запущен искусственный спутник Земли «Jason». Среди космических аппаратов, ведущих наблюдение за состоянием Мирового океана, он оснащен наиболее совершенной аппаратурой. Его альтиметр измеряет высоту спутника над океаном с очень высокой точностью, собирает данные о топографии океана (рельефе его поверхности), высоте волн, скорости и направлении ветра. Эти сведения спутник каждые 3 ч предоставляет для оперативных гидрометеорологических прогнозов. Особенно значима такая информация для прогноза Эль-Ниньо.

«Jason» сменит на орбите франко-американский спутник «TOPEX-Poseidon»<sup>1</sup>, работающий с 1992 г. Новый аппарат пролетает над теми же акваториями Мирового океана, но со сдвигом в 1 мин. Парный полет позволит точно откалибровать приборы спутника «Jason», а затем космический ветеран изменит свою орбиту так, чтобы оба аппарата могли фиксировать в океане явления очень малого масштаба.

Запуск спутника «Jason» — крупный успех его главного разработчика — Национального центра научных исследований Франции, а также НАСА США, создавшего для него многие измерительные приборы и систему позиционирования. Ввод аппарата в эксплуатацию стал важным шагом к созданию постоянной обсерватории над Мировым океаном. Не-

<sup>1</sup> См.: Космическая альтиметрия // Природа. 1996. №1. С.118.

прерывное космическое наблюдение будет гарантировано: уже за двое суток до запуска спутника «Jason» началась реализация проекта «Jason-2» — новый аппарат должен вступить в строй в 2005 г.

Science et Vie. 2002. №1013. P.14–15 (Франция).

**Океанология**

**Как перемешиваются морские воды**

Согласно высказанной около 30 лет назад гипотезе, крупные массы воды в океане могут «разбавлять» друг друга без внешнего воздействия. Позже гипотеза была подтверждена наблюдениями, при которых обнаружили довольно четко ограниченные узкие течения («пальцы»), характеризующиеся большой соленостью; под воздействием термодинамических факторов они поднимаются и погружаются между определенными слоями воды. Однако оставалось неясным, достаточно ли эти течения сильны, чтобы играть существенную роль в перемешивании больших океанских масс.

На совместной конференции Американского геофизического союза и Американского общества лимнологии и океанографии (Гонолулу, февраль 2002 г.) были доложены результаты исследований, проведенных под руководством Р.Шмитта (R.Schmitt) сотрудниками Вудсхолского океанографического института (штат Массачусетс, США). Двигаясь вслед за распространяющимся инертным химическим веществом, специалисты в течение года изучали процессы, которые совершались в водах Атлантики восточнее о.Барбадос. В ходе этой экспедиции впервые удалось непосредственно измерить энергию, которой обладают эти солевые «пальцы».

До сих пор при измерении объема турбулентного смешивания вод в океане оказывалось, что он примерно в 10 раз меньше ожидаемого. Теперь океанографы установили роль в этом механизме солевых «пальцев»: там, где теплые и насыщенные солями воды

лежат поверх холодных и пресных (что обычно для тропиков и субтропиков), солевые «пальцы» толщиной всего в несколько сантиметров (!) способны перемешивать водные массы на протяжении сотен километров без участия течений. Дело в том, что тепловая энергия многократно усиливает диффузию; она идет в 100 раз более интенсивно, чем при обычной диффузии солей в морской воде.

При наличии солевых «пальцев» к поверхности поднимаются многочисленные тонкие струи, образующие «колонны» толщиной в несколько десятков сантиметров. Такие колонны служат чем-то вроде теплообменника, в котором соленая вода передает тепловую энергию окружающей ее холодной и пресной, при этом сама становится более плотной и уходит вниз, а подогретая холодная, приобретает меньшую плотность, поднимается.

Работая в акватории, омывающей о.Барбадос с востока, исследователи, помимо прочего, проследили происходившее в течение 300 сут перемещение и перемешивание конкретной водной массы. Для этого в январе 2001 г. за борт было спущено 175 кг трассирующего вещества — жидкого гексафторида серы. Контейнер с ним буксировался судном на постоянной глубине 400 м, пометив таким образом площадь в 24 км<sup>2</sup>. В этой акватории слой, насыщенный химикалиями и достигавший в толщину 20 м, занимал положение между двумя слоями солевых «пальцев». Распознать его было возможно еще и в ноябре 2001 г., когда количество химикалий составляло лишь 1 г/км<sup>3</sup> морской воды.

Выводы о том, что перемешивание океанических вод происходит в первую очередь под воздействием тонких солевых «пальцев», а не собственно течений, нашли высокую оценку у видного специалиста Р.Пинкела (R.Pinkel; Скриппсовский океанографический институт в Ла-Холье), который подчеркнул, как важно теперь установить распространенность подобных процессов в иных акваториях Мирового океана.

Science. 2002. V.295. №5561. P.1821 (США).

**Вулканология**

**Ньярагонго — примечательный вулкан Африки**

С начала 2002 г. возобновил активность вулкан Ньярагонго (3469 м над ур.м.), расположенный на территории Республики Заир. С южных склонов всего за двое суток вытекло примерно 20 млн м<sup>3</sup> раскаленной лавы. Поток быстро достиг г.Гома, стоящего на берегу оз.Киву. Из 400 тыс. населения не менее 300 тыс. пришлось спешно эвакуировать. Лава залила 13% территории города, лишь в крова более 40 тыс. человек; сокрушив строения близлежащего аэропорта, она соприкоснулась с водами оз.Киву. В район бедствия немедленно прибыла большая международная группа вулканологов. Специалисты многократно совершали осмотр вершины и склонов с вертолета; часть экспедиции изучала состояние обезлюдевших берегов оз.Киву и его вод.

Следует отметить, что еще в декабре 2000 г. сейсмические станции обсерватории Гома начали регистрировать локальные «рои» землетрясений, но казалось, что их источником был не Ньярагонго, а расположенный поблизости вулкан Ньямурагира, входящий в тот же горный массив Вирунга. Сравнительно сильное землетрясение ( $M \approx 4.0$  по Рихтеру) произошло 7 октября 2001 г.; оно было явно не вулканического, а редкого для здешних мест тектонического происхождения. В ноябре—декабре ученые отмечали на вершине Ньярагонго существенные изменения: сразу после тектонического события из кратера Сахеру, в 2 км от вершины, поднялся белый столб пара; темные клубы дыма выбросил один из небольших конусов, возникших в 1995 г.; температура в новорожденных фумаролах достигала 70°C; почва на поверхности прогрелась до 28°C (обычно не превышала 5—9°C).

В середине января 2002 г. на южном склоне горы, на высоте около 2800 м, возникла огромная,

быстро распространявшаяся в направлении оз.Киву, система трещин. Расстояние в 10 км она прошла менее чем за 8 ч. Деревня Муниги, пригород Гомы, оказалась прямо над трещиной. Двухметровой ширины расселина обнаружилась и внутри кратера Сахеру. Над этим районом 18, 21 и 27 января проходил искусственный спутник Земли; работавший на его борту прибор MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) зафиксировал горячее пятно с центром вблизи кратера Сахеру. Постепенно затухая, оно 27 января было уже едва заметным. Собственно извержение завершилось после 20 января, но сейсмические события продолжались с разной частотой и различной магнитудой. Так, 22 января менее чем за 3 ч отмечено около 20 толчков средней и малой интенсивности; за следующие 5 сут — около сотни землетрясений с  $M > 5$  и эпицентрами между Гомой и самим вулканом.

Сейсмические станции Буленго, Катале и Гома по времени поступления к ним сейсмических волн установили точное местонахождение источника толчков, часть которых оказалась под оз.Киву.

Жители окрестных деревень в радиусе 6—10 км от вершины горы сразу после подземных толчков наблюдали ярко-красное свечение; позже на поля и крыши домов выпал пепел. Уже после основных событий, 24 января, внутри кратера образовался провал глубиной около 800 м. Одновременно почти полностью исчезли старые террасы в стенах кратера, по которым можно было судить о стоянии уровня лавового озера на разных этапах его истории. О существовании этого озера впервые сообщил немецкий геолог Г.А.фон Готцен еще в 1894 г. В январе 1977 г. оно внезапно вытекло и заново появилось в 1982 г., чтобы в следующем году снова пропасть.

Интересные показания дали женщины из деревни на берегу оз.Киву: за 3—5 сут до извержения уровень воды упал на несколько

сантиметров, а крабы и раки начали выскакивать на поверхность; 20 и 21 января в маленьком озерном заливе появились мертвые рыбы и пузыри, поднимавшиеся со дна. Сразу после событий и местные рыбаки сообщили о заметных изменениях уровня озера; измерения подтвердили, что часть берега просела, а вода поднялась. В Гоме почва опустилась на 15—27 см. Проседание продолжалось и более месяца спустя после извержения. В гавани Гомы и на озерном острове оно достигло 50—60 см, причем в феврале—марте 2002 г. район погружения смещался на запад параллельно сдвигавшимся эпицентрам подземных толчков.

По данным геологических архивов, Ньярагонго некогда частично поглотил два более древних стратовулкана, унаследовав при этом около 100 конусов, вытянувшихся вдоль радиальных расселин. Как говорит история, Ньярагонго представляет значительную угрозу для окрестного населения.

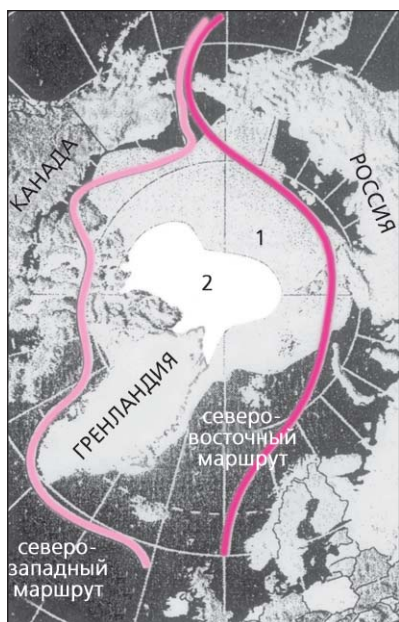
Bulletin of the Global Volcanism Network. 2002. V.27. №3. P.2 (США).

**География**

**Трансарктические плавания станут реальностью**

При той скорости таяния ледяного покрова в Северном Ледовитом океане, которая отмечается ныне, новые судоходные маршруты будут открыты там уже через десяток лет. Такое заявление сделали специалисты ВМФ США. Сегодня лишь отдельные ледоколы способны прокладывать путь торговым судам через мощные ледяные поля. Однако в будущем все большее число рядовых судов смогут проходить арктическими дорогами. Скорее всего, через пять лет станет доступным в два летних месяца северо-восточный маршрут — вдоль арктических берегов России. Он резко сократит срок плавания из Европы в порты Восточной Азии и откроет новые рыболовные зоны.





Предполагаемые трансарктические маршруты судов. 1 — летняя площадь льдов по данным 1972—1990 гг.; 2 — площадь льдов, прогнозируемая к 2030 г.

Вместе с тем встает и новая проблема: как защитить Арктику, ее раннюю среду, над которой не проходят орбиты спутников связи и слежения? В равной степени американские власти обеспокоены и правовым статусом этих будущих маршрутов, поскольку и Россия, и Канада, несомненно, будут отстаивать статус своих территориальных вод.

Sciences et Avenir. 2002. №662. P.25 (Франция).

## Геоморфология

### Следы ледниковых наводнений

В последние годы появились многочисленные геологические, гляциологические и океанологические материалы, свидетельствующие о существовании в Северном полушарии в конце ледникового периода гигантских пресноводных водоемов — ледниково-подпрудных озер вдоль краев тающих ледников.

Их катастрофические прорывы создавали необычный рельеф,

который впервые был описан в 1920-х годах американским геологом Дж.Х.Бретцем (J.H.Bretz) и назван им «Channeled scabland». На этой «изрезанной каналами» земле, расположенной на Колумбийском плато (штат Вашингтон), базальтовая поверхность расчленена многочисленными ущельями, каньонами, ступенями водопадов, образование которых, по мнению ученого, было связано с потоками вод, возникшими при таянии ледника. Однако гипотеза Бретца утвердилась лишь спустя 40 лет, когда похожий рельеф нашли в западной части штата Монтана, где существовало самое крупное из таких ледниково-подпрудных озер — Миссула; оно было порождено наводнением, произошедшим около 30 тыс. лет назад. Тогда ледяная плотина, которая удерживала талые воды, спускаясь с Кордильер, внезапно рухнула, и мощный паводок способствовал образованию глубоких каньонов, водопадов, толщи промытых галечников, а также гигантских знаков ряби течений (аналога обычной речной или ветровой ряби, увеличенной в десятки и сотни раз)<sup>1</sup>.

Постепенно выяснилось, что южный край Лаврентийского оледенения, покрывавшего всю Канаду и значительную часть США, отступая и подтаивая, эпизодически заливал целые районы внезапными наводнениями. Пресная талая влага, поступающая в конце концов в океан, влияла на циркуляцию морских вод и тогдашние климатические условия. Свидетельства гляциальных наводнений обнаружены и в Азии. Красноречивый пример — верховья Оби и Енисея, где существовала система громадных естественных водосливов, соединявших ледниковые озера, которые затопляли бассейны обеих рек. Здесь отступившие ледники тоже оставили после себя необычный рельеф.

Полагают также, что Каспийское и Аральское моря, когда-то имевшие много большие площади

и объемы, были заполнены влагой талых ледниковых вод, и это позволяло им соединиться с Черным и Средиземным морями. Следы подобных катастроф находят и в горах, расположенных вдоль границ современной России, Китая, Монголии и центральноазиатских республик. Здесь подпруженные реки постепенно подтачивали ледяные плотины, а возникавшие при этом озера изливали содержимое на предгорья, преобразуя ландшафт.

Видный российский гляциолог М.Г.Гросвальд считает, что влаги ледникового происхождения было так много, что она затопила мелководный ныне континентальный шельф Северной Азии, а затем распространилась и на юго-запад, где под водой оказались обширные площади сравнительно приподнятых земель<sup>2</sup>.

Недавние исследования показывают, что бассейн одной из величайших рек Северной Америки — Колумбии (длина более 2 тыс. км) — за последние 1.5—2.5 млн лет неоднократно подвергался катастрофическим наводнениям. Впадая в Тихий океан, эта река несла с собой осадочные породы, которые перемещались течениями на тысячу километров от устья. Расход воды при таких событиях был огромным: в районе оз.Миссула и на Алтае он достигал примерно 20 млн м<sup>3</sup>/с, что сопоставимо с расходом многих крупных морских течений. Но если скорость последних не превышает нескольких метров в секунду, то поток талых вод несся со скоростью несколько десятков метров в секунду. В узких скалистых ущельях происходил подъем воды и возникала гигантская ударная волна, способная разрушать скалы и перетаскивать их крупные обломки.

Сравнительно молодая наука о гляциальных наводнениях делает первые шаги. Но уже теперь ясно, что в дальнейшем без нее не обойтись при воссоздании истории нашей планеты.

Science. 2002. V.295. №5564. P.2379 (США).

<sup>1</sup> Рудой А.Н. Ледниковые катастрофы в новейшей истории Земли // Природа. 2000. №8. С.36—45.

<sup>2</sup> Подробнее см.: Гросвальд М.Г. Европейские гидросферные катастрофы и оледенение Арктики. М., 1999.

**Палеоклиматология**

**Нестабильность климата в эпоху оледенения**

Сравнительно стабильному климату последних 10 тыс. лет в Северо-Атлантическом регионе предшествовал климат ледникового периода с резкими переходами от холодного (стадиального) состояния к теплomu (интерстадиальному)<sup>1</sup>. А.Шмиттнер, М.Юсимори и Э.Дж.Уивер (A.Schmittner, M.Yousimori, A.J.Weaver; Школа наук о Земле и океане при Университете Виктории, провинция Британская Колумбия, Канада) построили математическую модель, которая демонстрирует взаимодействие между атлантической термохалинной циркуляцией и прилегающим континентальным ледниковым покровом. Оказалось, что такое взаимодействие может служить спусковым механизмом для возникновения резких потеплений и в то же время лимитировать продолжительность циркуляции, характерной для интерстадиального состояния климата. Именно в этом исследователи видят причину возрастания переменчивости климата в ледниковые эпохи.

Модель показывает, что уменьшение числа отколов айсбергов в сравнении с периодом времени, когда они происходили достаточно часто, тоже способствовало быстрым, в пределах всего нескольких столетий, потеплениям в ледниковое время.

Science. 2002. V.295. №5559. P.1489 (США).

**Археология**

**Как возродить афганские древности?**

В марте 2001 г. весь цивилизованный мир был потрясен вандализмом талибов, поднявших руку на древнейшее наследие афган-

<sup>1</sup> См., напр.: Климат на юге и севере изменялся в противофазе // Природа. 2001. №10. С.84—85.

ского народа<sup>2</sup>. По-своему прочитав Коран, они решили на подвластной им территории уничтожить все живописные и скульптурные изображения любого живого существа: дескать орнамент пусть остается, а все, что волею Аллаха движется, не имеет права быть воспроизведенным. Между тем еще за тысячелетие до своей исламизации, даже до возникновения магометанства, местные жители исповедовали буддизм и на древних караванных путях, связывавших страну с Индией, возводили объекты поклонения. До талибов никому и в голову не приходило сокрушать каменные статуи Будды, простоявшие в труднодоступной провинции Бамиан 1700 лет и давно превратившиеся из предметов религиозного почитания в памятники многовековой культуры, принадлежащей всему человечеству.

Настало время подсчитать нанесенный талибами урон. Выяснилось, что в том же гористом районе Бамиан бесследно исчезли занимавшие около 150 м<sup>2</sup> древние фрески, украшавшие скальные ниши. Разграблено или изуродовано множество экспонатов Национального музея в Кабуле (вряд ли подлежит восстановлению и само его здание). Сильно повреждены религиозный комплекс древних огнепоклонников-зороастрийцев Сурхкоталь на севере страны, несколько средневековых мавзолеев в Герате и построенная в IX в. мечеть в Балхе. Пока еще не удалось проверить слухи о разрушениях под Желалабадом, где находились уникальные сооружения времен Александра Македонского, представляющие собой смешение буддийских традиций с эллинистическими.

ЮНЕСКО призвала помочь возрождению памятников Афганистана. На обращение уже откликнулись многие культурные и финансовые учреждения разных стран, а также немало людей, которым небезразлична судьба

<sup>2</sup> Истории и искусству нанесен тяжелый удар // Природа. 2001. №12. С.64.

объектов, включенных в Мировое наследие.

Интересный план предложил, например, швейцарский архитектор П.Бухерер-Дитши (P.Bucherer-Dietshi): собрать со всего света фотографии Стоящего Будды, оцифровать их, создать на этой основе модель скульптуры в масштабе 1:10 и поставить в музее, который уже создается в Бубендорфе (Швейцария) — он станет убежищем предметов афганской культуры, пока военные действия в несчастной стране не завершатся. Обойдется это в немалую сумму — примерно 1 млн долл. США, но первый шаг к возрождению реликвий (хотя бы их копий) будет сделан. Афганский министр информации и культуры Р.Махдум (R.Makhdoom), сам профессор истории искусств, поддержал замысел швейцарца: его осуществление послужило бы не только восстановлению памятников, но и возвращению потока туристов в страну.

Тем временем сотрудники ЮНЕСКО пригласили трех афганских археологов для поиска хотя бы части экспонатов Национального музея в Кабуле. Пока что среди завалов в фундаменте здания удалось обнаружить ящик с гончарными изделиями и примитивной керамикой, принадлежащими предкам современных пуштунов. Предстоит разыскать еще тысячи исторических реликвий, в том числе клад золотых предметов, найденный советскими учеными в конце 1970-х годов при раскопках в Северном Афганистане крепости Тилля-тепе (Золотой холм)<sup>3</sup>. Поиски зачастую осложняются минными полями, которые остались после более чем 20-летней войны.

Официально о готовности участвовать в акции возрождения искусства и культуры Афганистана заявили правительства Италии, Германии, Австрии и Японии. Но многие ценности уже никогда не вернуть.

Science. 2002. V.295. №5554. P.419 (США).

<sup>3</sup> Подробнее см.: Сафианиди В.И. Бактрийское золото // Природа. 1980. №4. С.50—56.

# В эпицентре «Большой игры»

В.Ж.Келле,

доктор философских наук

Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН  
Москва

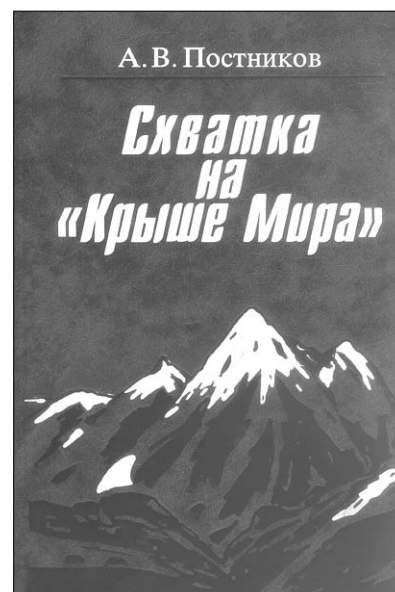
Время и место описываемых действий — XIX в., Памир, высокогорный труднодоступный малонаселенный и малоисследованный район Центральной Азии, белое пятно на карте. На юге высятся Гималаи, простирается Индия — наиболее ценная колония в составе Британской империи. На западе, захватывая часть Памира, располагается территория Афганистана. На востоке Памир граничит с китайской провинцией Синьцзян. На севере — Арало-Каспийская низменность, горы, степи и пустыни Туркестана. Во второй половине столетия Туркестан стал объектом активной колониальной политики России. За короткое время она раздвинула свои границы в Средней Азии и приблизилась к рубежам Памира. В Англии это вызвало и беспокойство, и недовольство. А не вынашивает ли Россия планы захвата Индии? В результате Памир оказался в эпицентре так называемой «Большой игры» — драматического исторического противостояния великих империй — Британии и России, противостояния, в которое были вовлечены также Китай и Афганистан. Карты Памира создавались в этом политическом контексте.

© В.Ж.Келле

Сюжет монографии построен на составлении карт Памира, на которых обозначены неисследованные ранее местности. Но если оставить без ответа вопрос, как все это происходило, история картографирования Памира останется совершенно непонятной. Имея это в виду, автор называет свой труд «сопряженным», комплексным, междисциплинарным. В итоге скрупулезное научное исследование на основе архивных документов превратилось в увлекательное повествование, которое читается, как приключенческий исторический роман. Материал говорит сам за себя. Автору надо было «только» его обнаружить, собрать и выстроить соответствующим образом, что и было сделано с блеском.

Это не сборник документов, а оригинальная работа, в которой приведено большое количество источников: копии карт, письма, докладные записки, записи бесед и т.д. Все иноязычные материалы даны как на языке оригинала, так и в переводе на русский, что увеличивает объем книги, но повышает ее научную ценность.

Автор работал во многих отечественных и зарубежных архивах разных стран Европы и Азии, включая Архив внешней политики Российской Империи (где, в частности, хранятся по-



А.В.Постников. СХВАТКА НА «КРЫШЕ МИРА»: Политики, разведчики и географы в борьбе за Памир в XIX веке. (Монография в документах.) Общ. ред. акад. В.С.Мясникова.

М.: Памятники исторической мысли, 2001. 416 с.



даренные Индирой Ганди Советскому правительству материалы дипломатического архива вице-короля Индии), Российский государственный исторический архив, национальные исторические архивы Казахстана и Узбекистана, Британскую библиотеку в Лондоне, Национальную библиотеку в Париже, архивы Швеции, Финляндии, Польши (всего около 20). Их число впечатляет.

Очевидно, что одним из движущих мотивов этой огромной работы было стремление объективно отразить происходившее. Точность — профессиональное качество картографа.

В Англии существовало две партии. Одна действительно верила, что Россия стремится захватить Индию, другая исходила из того, что восточная держава на подобную авантюру не решится. Хотя прецедент имел место. В книге приводится малоизвестный факт: между императором Павлом и Наполеоном была достигнута договоренность о посылке совместного экспедиционного корпуса численностью в 70 тыс. человек в Индию. И лишь смерть Павла помешала осуществлению этого плана.

Немало интересных страниц в книге посвящено описанию Памира и населяющих его народов. Дело в том, что картографические работы вообще тесно связаны с этнографическими. В данном случае эта связь объясняется и тем, что некоторые карты труднодоступных районов Памира составлялись первоначально на основе словесных описаний. И вопрос о том, насколько им можно доверять, имел принципиальное значение. Кроме того, путешественники в суровых условиях Памира часто вообще не могли обойтись без помощи коренных жителей.

Первыми картографами Памира стали миссионеры-иезуиты, осуществлявшие свою деятельность в Китае в середине XVIII в. Их карты были представлены китайскому императору,

а европейцам долгое время не были известны.

Интерес англичан к Центральной Азии возник с начала XIX в. Позднее ими была создана специальная служба для картографирования северных, пограничных с Индией, территорий. Работу эту выполняли офицеры английской разведки, специально обученные съемке местности. Среди туземцев-разведчиков также встречались талантливые люди. Зная местные языки и обычаи, они приносили ценнейшую информацию, да еще вели пропагандистскую работу в пользу Англии против России. Иногда они включались и в состав экспедиций, возглавляемых англичанами.

Политический резонанс этой работы прозвучал в дипломатических переговорах между министрами иностранных дел России и Британии, проводившихся в 1872—1873 гг. и закончившихся соглашением о разделении сфер влияния двух государств. Англия была категорически против того, чтобы Россия и Индия непосредственно граничили друг с другом, и стремилась создать между ними буферную зону. Англия оказалась более подготовленной к переговорам, так как у русских было довольно смутное представление о территории Памира. Но, несмотря на это, Россия заключила очень важное для себя соглашение, определявшее северную границу Афганистана.

Несмотря на соперничество на уровне государств, между учеными и даже военно-топографическими службами шла активная переписка, происходил обмен информацией. «Представители их государственных военно-топографических служб старались объединить усилия в исследовании неизвестных европейцам уголков Центральной Азии, исходя во многом из гуманистических принципов необходимости обеспечения прогресса научных географических знаний» (с.110). Конечно, открывалось

далеко не все. Материалы (включая карты), которые имели существенное военно-политическое значение, оставались секретными.

Во второй половине XIX в. Россия активизировала исследование территорий Средней Азии. Изучалась ее равнинная часть (Тянь-Шань), а Памир пока не привлекал к себе внимания. Лишь в начале 70-х годов экспедиция А.П.Федченко проникла в Алайскую долину и дошла до северной окраины Памира. Тогда же к России было присоединено Кокандское ханство, южные границы которого проходили уже по землям Памира. Теперь речь шла об изучении собственной территории, поэтому было организовано несколько крупных экспедиций, включавших в свой состав топографов. Значительный вклад во всестороннее изучение географии Памира внесли Н.А.Северцев и Г.Е.Грум-Гржимайло. Последний организовал четыре экспедиции на Памир.

В особую главу автор выделяет период, охватывающий два последних десятилетия XIX в., когда окончательно решался вопрос об определении границ всех государств-участников «Большой игры». Россия, претендуя на территорию захваченного ею Кокандского ханства, стремилась уточнить его границы на Памире и в них утвердиться; Англия настраивала Китай и другие соседние страны против России. Роль буферной зоны между Индией и Россией отводилась Афганистану. Китай и Афганистан, прежде довольно безразличные к памирским землям, тоже начали ставить свои условия.

В книге детально прослеживаются все перипетии «Большой игры». Ее участники не просто безликие государственные структуры, но конкретные люди, целая галерея которых проходит перед читателем, например колоритные фигуры талантливейших английских эмиссаров, путешественников и исследователей — Ния Илеаса

и Фрэнсиса Янгхазбенда, которые не только внесли значительный вклад в изучение Памира, но и повлияли на политику Британии в этом регионе, когда противостояние с Россией обострилось.

Выделяется экспедиция 1883 г. Д.В.Путяты, Д.Л.Иванова, Н.А.Бендерского, которые «буквально избородили Памир вдоль и поперек» (с.156) и составили лучшие для того времени карты.

На военное руководство России большое впечатление произвел вывод Громбчевского «о решимости британских властей осуществить раздел Памира между Китаем и Афганистаном» (с.244). Россия посылает на Памир военно-рекогносцировочный отряд для ознакомления с обстановкой и проведения маршрутных съемок. Возглавлять его было поручено полковнику М.Е.Ионову — весьма решительному офицеру. Его имя неоднократно упоминается в работе. Британии не удалось осуществить свой план, потому что игнорировать присутствие России на Памире стало уже невозможно.

В последнем разделе книги описывается определение границ России с Китаем и Афганистаном, ознаменовавшее завершение длившейся почти целое столетие «Большой игры». Для России соглашение с Британией 1873 г. было принципиальным, и она настаивала на его неукоснительном соблюдении. Британия же в течение последующих двух десятилетий неоднократно под различными предлогами пыталась его нарушить, заявляя права Афганистана (что означало и распространение ее влияния) на территории, расположенные на правом берегу Пянджа.

Приведенная в работе переписка по этому вопросу читается с большим интересом. Аргументы России, подкрепленные сложившейся к тому времени реальной ситуацией, оказались более весомыми. Британия была вынуждена согласиться. Тогда появились предпосылки для определения оставшейся необозначенной афгано-российской границы между оз.Виктория (Зоркуль) и китайской территорией. Была создана трехсторонняя комиссия. Но участие афганских представителей было чисто формальным: эмиры ставили свои печати на согласованных документах. Вся реальная работа осуществлялась Россией и Британией и была успешно завершена в 1896 г. Между российской и индийской границами осталась узкая полоса афганской территории. Россия сохранила Памир под своей юрисдикцией.

Более сложным оказалось определение границы с Китаем, который не признал результаты русско-британско-афганской комиссии. Независимо от этого Россия в 1894 г. предложила Китаю де-факто существующее разграничение их территорий на Памире и получила согласие (фактически речь шла о проведении границы по естественному рубежу — Сарыкольскому хребту), оговорив, что это не окончательное решение. Вопрос остается открытым до сегодняшнего дня.

Книга представляет собой фундаментальное научное исследование, в котором речь идет о довольно уникальной и малоизвестной цепи событий в отдаленном от цивилизации, суровом и загадочном районе Центральной Азии, где непосредственно столкнулись интересы великих держав. В итоге за корот-

кий исторический срок, несмотря на все трудности и препятствия, территория Памира была изучена, описана, нанесена на карту, т.е. перестала быть белым пятном. Я не географ и обсуждать специальные технические аспекты монографии не имею возможности. Единственное, о чем я сожалею, что к книге не приложена современная карта Памира, поскольку неспециалисту разбираться в исторических картах очень сложно. Но монография способна привлечь внимание любого интересующегося отечественной историей нового времени.

Возникает вопрос: а что нам до всего этого сейчас? Мир так изменился: Индия давно не колония Британии, Россия вернулась к границам XVII в., Таджикистан стал самостоятельным государством, Китай из полуколонии превратился в процветающую державу. Но историческая работа по-настоящему современна. Так, совсем недавно шли интенсивные переговоры по уточнению границ государств, образовавшихся после распада СССР, и КНР, где учитывались и соглашения, относящиеся к XIX в. Российские войска и ныне дислоцируются на границе с Афганистаном, а на его территории высаживаются английские морские пехотинцы, специально обученные для действий в горах. Книга возвращает нас к истокам этих процессов.

Но даже не это главное. Важно, что книга наводит на размышления, в ней собран фактический материал, позволяющий серьезно и осмысленно судить о роли России и Британии в Средней Азии, показывающий, как умело российские дипломаты и военные отстаивали интересы своего отечества. ■

**Физика. Техника**

**К.Одуап, Б.Гино.** ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ. ОСНОВЫ GPS. Пер. с англ. Ю.С.Домнина; Под ред. В.М.Татаренкова. М.: Техносфера, 2002. 400 с. (Из сер. «Мир связи».)

За последние 50 лет это первое всеобъемлющее издание по физике и метрологии времени. Точность атомных часов и атомной шкалы авторы рассматривают в контексте фундаментальных физических исследований, а также в применении к таким техническим системам, как глобальные системы навигации и позиционирования.

Книга необходима для метрологов, астрономов, инженеров-разработчиков высокоточных время-частотных приборов и систем. Она послужит учебным пособием и справочником для специалистов в области геофизики, атомной физики, навигации и телекоммуникации.

Русское издание дополнено обширным разделом по физико-техническим основам и алгоритмам глобальной системы навигации (GPS), что позволяет рассматривать эту часть книги как первое учебное пособие по данной тематике в нашей стране.

**Астрономия**

**П.Г.Куликовский.** СПРАВОЧНИК ЛЮБИТЕЛЯ АСТРОНОМИИ. Под ред. В.Г.Сурдина. Изд. 5-е. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 688 с.

Первое издание вышло в 1949 г. и называлось Справочник астронома-любителя. Книга быстро завоевала популярность. Следующие издания вышли под заголовком Справочник любителя астрономии, подразумевая, что и профессионалы тоже любят свою науку. С момента последнего, четвертого выпуска прошло уже

30 лет, поэтому потребовалась его коренная переработка, обновление практически всех данных, что и было сделано в новом издании, поддержанном грантом РФФИ.

В книге доступно и сжато излагаются задачи и методы изучения современной астрономии, а также развернута ее историческая хронология. Описываются небесные объекты: звезды, планеты и их спутники, кометы и астероиды, звездные скопления, туманности, галактики. Половину объема книги составляют 130 таблиц, содержащих данные о различных небесных явлениях. Это — предстоящие лунные затмения, солнечная активность за последние 300 лет. Даны названия звезд и созвездий, обозначены координаты обсерваторий и городов, параметры астрономических инструментов и др.

В приложении — карты Луны, Марса, звездного неба, координатные сетки для самостоятельного наблюдения Солнца и планет.

**Медицина**

**П.Г.Назаров.** РЕАКТАНТЫ ОСТРОЙ ФАЗЫ ВОСПАЛЕНИЯ. СПб.: Наука, 2001. 423 с.

Эта монография — первое отечественное издание, посвященное индикаторам воспаления, к которым относят большую группу белков, содержащихся в плазме крови и в тканях.

Справочник содержит исчерпывающую информацию о пентраксинах (С-реактивном белке, сывороточном амилоиде Р и др.), фосфолипазах, протеазах и их ингибиторах (антитрепине, антихимотрипсине, макроглобулине и др.), белках лейкоцитов, тромбоцитов, эндотелиальных клеток и матрикса соединительной ткани, а также о других факторах, связанных с острой фазой воспаления.

Рассмотрена роль реактантов в иммунорегуляции и защите организма, их диагностика при разных видах патологии. Дан подробный предметный указатель.

**Океанология**

**А.М.Сагалевич.** ГЛУБИНА. М.: Научный мир, 2002. 320 с.

В книге подводятся итоги многолетних исследований, проводившихся с применением подводных обитаемых аппаратов «Мир-1» и «Мир-2», базирующихся на судне «Академик Мстислав Келдыш», где с 1989 г. по настоящее время ведет научную работу А.М.Сагалевич. Рассматриваются этапы создания глубоководных аппаратов, их техническое обеспечение. Даны результаты исследований гидротермальных полей на дне океана, рассмотрена специфика технических операций на погибшей атомной подводной лодке «Комсомолец» и таких затонувших объектах, как «Титаник», «Бисмарк» и японская подводная лодка времен второй мировой войны «I-52».

Книга прекрасно иллюстрирована: 150 цветных фотографий дают представление о подводном мире, освещают рабочие моменты на борту судна и на поверхности океана.

Автор с 1965 г. работает в Институте океанологии им.П.П.Ширшова РАН и на его счету как пилота глубоководных аппаратов более 2000 так называемых подводных часов.

**Геология**

**И.А.Резанов.** ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ЗЕМНОЙ КОРЕ. Отв. ред. И.Н.Томсон. М.: Наука, 2002. 299 с.

За последние четыре десятилетия в представлениях о строении и эволюции земной



коры сложились две альтернативные концепции. Первая разделяет структуру коры на древние платформы и геосинклинально-складчатые пояса, а океаны рассматривает как опустившиеся части бывших континентов. Вторая считает океаническую кору новообразованной в результате спрединга и допускает раскол континентов и их горизонтальные перемещения.

В выборе между двумя концепциями решающее значение имеет геологическая интерпретация геофизической информации о структуре континентальной и океанической коры. Этой важнейшей проблеме и посвящена книга.

Автор с исторической точки зрения описывает состав и происхождение земной коры, а также становление геологической, гравиметрической и сейсмической моделей. В книге обсуждаются дискуссионные проблемы происхождения, эволюции и современного состояния различных типов коры на примере существующих геотектонических концепций. Рассмотрены условия образования и дальнейшая эволюция первичной коры Земли, а также причины возникновения тонкой океанической коры.

### Археология

**М.Г.Жилин, Е.Л.Костылева, А.В.Уткин и др.** МЕЗОЛИТИЧЕСКИЕ И НЕОЛИТИЧЕСКИЕ КУЛЬТУРЫ ВЕРХНЕГО ПОВОЛЖЬЯ. М.: Наука, 2002. 480 с.

В монографии опубликованы результаты многолетних раскопок многослойного торфяного поселения (Ивановское 7), ведущихся в Ярославской обл. Хорошая сохранность органических материалов делает

этот памятник одним из опорных для изучения мезолита и неолита Русской равнины.

Авторы анализируют стратиграфию и планиграфию стоянки; описывают находки из камня, кости, рога, дерева и глины мезолитической бутовской, неолитических верхневолжской, льяловской и воловской культур, а также небольшой могильник. В приложении указаны результаты радиоуглеродного датирования остатков флоры и фауны, дана характеристика антропологических особенностей древнего населения.

### История науки

**И.А.Зотиков.** САГИ ПОЛЯРНЫХ МОРЕЙ: Необычное путешествие от Чукотки до Мурманска в августе 1991 г. М.: ТЕРРА, 2002. 416 с.

Игорь Алексеевич Зотиков — член-корреспондент РАН, полярник, писатель и художник. Он много работал в Антарктиде, дважды зимовал в составе советской и американской экспедиций; работал на ледниках Шпицбергена, Полярного Урала, на дрейфующих льдах Северного Ледовитого океана (станция «Северный полюс-19»).

Книга представляет собой написанный в форме эссе дневник путешествия, совершенно автором по Северному Ледовитому океану на атомном ледоколе «Советский Союз» от Чукотки до Мурманска в августе 1991 г.

Рассказы о полярных морях, о берегах, мимо которых шел ледокол, и судьбах их первооткрывателей, этнографические зарисовки, история о том, как экипажи атомных ледоколов не подчинились приказу ГКЧП — все это нанизано на нить сюжета. Репродукции 40 рисунков

и 16 картин автора, сделанных с натуры в Арктике и Антарктиде, придают тексту особую достоверность.

На переплете — фрагмент картины «Сентябрь в Арктике. У берегов Земли Франца-Иосифа» (1991).

### История науки

**Г.А.Чернов.** ПЕЧОРСКИЙ КРАЙ — СУДЬБА МОЯ (По запискам геолога). М.: Научный мир, 2002. 388 с.

Георгий Александрович Чернов — потомственный геолог-полярник. Он открыл новые месторождения угля и нефти. Более полувека (1924—1984) отдал изучению недр Печорского края: работал в Республике Коми, Ненецком округе и на Полярном Урале. Исследовав самые труднодоступные районы Заполярья, Чернов обнаружил десятки геологических объектов, имеющих практическое промышленное применение. Он стал родоначальником трех городов на Севере: Инты, Воркуты, Усинска.

Чернов выявил более 300 археологических памятников, сыгравших большую роль в восстановлении истории края с начала заселения Большеземельской тундры. Он автор 160 научных трудов, 7 монографий и нескольких популярных работ.

В книге опубликованы воспоминания Георгия Александровича о своей жизни и об истории открытия Тимано-Пайхойской нефтегазоносной провинции. Интересно описываются романтика и тяготы геологических экспедиций, красота и суровость природы Печорского края.

В оформлении использованы фотодокументы из личного архива автора. На обложке: Чернов на р. Адзъва (1929).

# Сокровища Дарвиновского музея

О.П.Ваньшина, М.А.Пузик

Государственный Дарвиновский музей  
Москва

Библиотека Дарвиновского музея насчитывает около 30 тыс. произведений печати. Почему не просто книг? Потому что в ней есть и папки с гравюрами, и альбомы, и плакаты.

Книжное собрание обеспечивает различные виды деятельности: научный, научно-просветительский, экспозиционный.

Начиная с 1982 г. из общего собрания был выделен фонд «Редкая книга», в котором более 7 тыс. изданий, и это число постоянно растет. К редким может быть отнесена и современная книга, изданная небольшим тиражом, с владельческими надписями. В музее хранятся в основном книги, отпечатанные начиная с XVI в.

Книжные экспозиции музея вызывают огромный интерес у посетителей. Например, работа Улисса Альдрованди «История змей и драконов», вышедшая в 1640 г., открыта на странице с гравированным драконом, описанным автором как реально существующее животное.

Книга Яна Сваммердама «Библия природы» по замыслу должна была дополнить саму Библию. Вышла эта работа уже после смерти автора. Иллюстрирована прекрасными рисунками с изображением беспозвоноч-

ных животных, в основном моллюсков и насекомых.

Трудно выбрать самое интересное из этого уникального собрания. Есть большие фолианты с раскрашенными от руки гравюрами, есть прижизненные издания классиков биологии: К.Линнея, Ж.Бюффона, Ч.Дарвина (и переводы трудов его деда Эразма Дарвина, естествоиспытателя и поэта). Каждая книга имеет свою историю, отраженную в пометках на полях, владельческих надписях и экслибрисах.

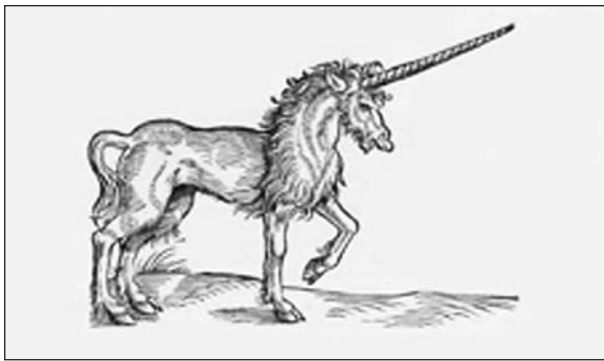
Отдельная тема — языки книг. Самые древние, конечно, на латинском, но есть и на голландском, польском, чешском, китайском, английском, немецком, французском языках.

Формировать коллекцию начал основатель музея А.Ф.Котс [1]. Он покупал книги в России, привозил из зарубежных поездок. Надежда Николаевна Ладыгина-Котс, жена Александра Федоровича, собирала литературу по психологии, педагогике, физиологии высшей нервной деятельности и зоопсихологии, причем большая часть книг ее библиотеки издана на европейских языках. Благодаря ее усилиям в музее хранятся редкие издания конца XIX — начала XX в.

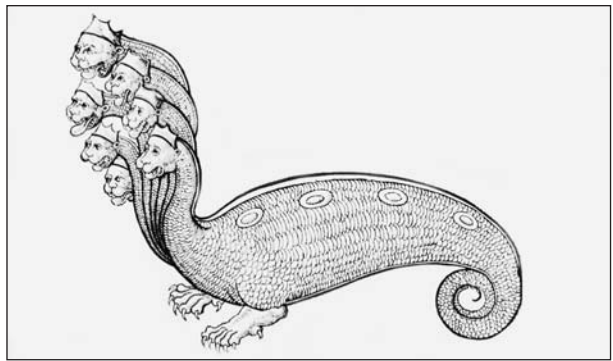
Другая часть фонда «Редкая книга» принадлежала меценату и коннозаводчику Алексею Сте-

пановичу Хомякову. Для своей библиотеки он подготовил и выпустил два издания: «Систематический каталог библиотеки А.С.Хомякова. Орнитология» (1911) и «Каталог библиотеки А.С.Хомякова в Москве. Энтомология» (1915). В первый включены описания 388 книг, причем отдельно выделены русские и иностранные; введены специальные систематические разделы (орнитология, природоведение, птицеводство и голубиный спорт). Посвященный энтомологии выпуск еще обширнее: «Всего в каталог внесено 689 названий в 1048 томах (из них 737 в переплете), 932 брошюры и тетради, 2 папки с таблицами и 44 отдельных листа». Судя по этой библиографии, собрание Хомякова отличалось полнотой и включало дорогие редкие книги. Примером могут служить четыре огромные папки (68×101 см<sup>2</sup>), в которых хранятся 435 гравюр, раскрашенных вручную американским анималистом Дж.Дж.Одубоном. После революции собрание Хомякова было национализировано и в 1919 г. передано в фонды Дарвиновского музея.

В 1968 г. Государственная библиотека им.Ленина передала музею часть своих фондов по естественнонаучной тематике. Среди них собрание сочинений Чарльза Дарвина, «Птицы Амери-



Единорог.



Венецианский дракон Лионей.

ки» Одюбона и много других редких книг. Иногда в дар поступали и целые тематические библиотеки!

В 2001 г. в Дарвиновском музее состоялась выставка, посвященная 450-летию зоологической энциклопедии К.Геснера «История животных». Хорошая сохранность книг, а в фонде музея имеются все пять томов и два сборника рисунков («Icones»), говорит о многом. На некоторых экземплярах есть пометки, датируемые XIX в., а это значит, что еще тогда энциклопедия служила учебником по зоологии.

Швейцарский натуралист Конрад Геснер (1516—1565), профессор естествознания и знаток античной философии, был еще лингвистом и библиофилом. В заглавии книги есть посвящение: «Книги Конрада Геснера по истории животных, труд в высокой степени полезный и в равной мере весьма приятный для философов, врачей, грамматиков, поэтов и всех, изучающих различные предметы и языки». Эта пятитомная энциклопедия начала издаваться в 1551 г., а последний, пятый, том вышел уже после смерти автора. Во времена эпохи Возрождения эта старинная книга с забавными рисунками и текстами была незаменимым пособием для любителей естествознания.

Томы выглядят необычно: размером 41×25 см<sup>2</sup> и толщиной

12 см. Переплет обтянут светлой телячьей кожей с выдавленным на ней орнаментом. Имелись и застежки, но от них сохранились только крепления на верхней крышке. Прекрасно сделаны гравюры. Однако часть животных рисовалась явно не с натуры, а по словесному описанию. Например, жираф изображен с длинными рогами, а у носорога есть еще рог на спине. Очень интересны гравюры, посвященные морским животным. Геснер стремился к максимально полному охвату и привел изображения и описания мифических существ (дракона, базилика, морского монаха и др.).

К первому тому энциклопедии приложен указатель еврейской, греческой, римской и другой использованной литературы. И это неудивительно. Геснер был настоящим полиглотом, неплохо знал европейские языки и несколько восточных и мог прочесть любой труд в подлиннике. Кроме того, он многое самостоятельно наблюдал, изучал и собрал целую коллекцию: чучела и скелеты животных, описания и рисунки путешественников, видевших диких животных зверей. Широтой интересов и любознательностью Геснер напоминал Плиния Старшего. Подобно этому римлянину, он тоже был убежден, что чем больше старинных книг накоплено человечеством, тем большими знаниями оно обладает. Геснера

даже называли «Плинием эпохи Возрождения».

Энциклопедия Геснера занимает четыре с половиной тысячи страниц и иллюстрирована тысячами рисунков, сделанных либо самим автором, либо заимствованных у П.Белона, Г.Рондле, А.Дюрера. Рисунки были настолько удачными, что позже их издавали отдельно.

Это была первая энциклопедия по зоологии. Описания животных в каждом томе располагались в алфавитном порядке. Известные Геснеру систематические группы были запутаны и противоречивы, и пользоваться ими было очень трудно. Отказавшись от классификации, Геснер все-таки распределил всех животных по группам.

В первом томе речь идет о млекопитающих, второй посвящен яйцекладущим животным, в третьем описываются птицы, четвертый занят водоплавающими, главным образом рыбами, а в пятом даются характеристики различных насекомых и иных беспозвоночных.

Геснер придавал огромное значение стройности изложения и для описания использовал строгий план.

А. Название животного на разных языках.

В. Родина и распространение. Описание внешних и внутренних частей тела.

С. Общебиологические данные: связь со средой обитания,



жизнедеятельность и болезни, питание, спаривание, деторождение, воспитание потомства, способы передвижения.

Д. Психическая жизнь животных: чувства, ум, инстинкты и нравы.

Е, Ф, Г. Роль животных в жизни людей: сельское хозяйство и охота, воспитание и дрессировка, поклонение животным и т.п.

Н. Различные изречения, поговорки, символы, эмблемы, басни, мифы, чудеса и т.п. [2].

Изложив в нескольких словах какой-либо факт, Геснер указывает имя писателя, у которого вычитал, либо заимствовал его. Некоторые рисунки сопровождаются ремаркой: автор не берет на себя ответственности за их точность.

Желание охватить все доступные на тот момент знания по зоологии привело к тому, что наряду со сведениями о реаль-

ных животных в энциклопедии появились и описания сказочных существ. Часть из них — рассказы шарлатанов, стремящихся сыграть на обывательской жажде сенсации. Пример базилика, сфабрикованного из ската, приводит в своей «Истории животных» Геснер. Он знал, как ловко описывают всяких морских чудовищ, и далеко не все услышанное поместил в свои записи.

«Аптекари и другие бродяги придают телу скатов различных вид, смотря по желанию <...>. Я видел у нас одного бродягу, который показывал ската под видом базилика». Вот такой отзыв дал Геснер в своей книге о некоторых чудовищах.

Он разоблачил и знаменитого венецианского дракона, под именем Лионей прогремевшего на всю Европу. Это было редкостное чудовище: закручен-

ный хвост, две могучие лапы с когтистыми пальцами, покрытыми шерстью, и семь голов на длинных шеях. Дракона оценили в 6 тыс. дукатов и, как говорят, он был куплен самим французским королем [3].

Часто необыкновенные черты придавали животным, которых видели издали, сквозь толщу воды. Среди моряков ходили легенды о громадных спрутах, нападающих на корабли. Ламантины, дюгоны и дельфины породили рассказы о морских монахах и епископах, nereидах и русалках.

Не стоит искать в трудах Геснера строго научных данных. Его энциклопедией пользовались все, кто владел латынью. Она была для них тем, чем в наши дни стали всем известные книги А.Брема, с той лишь разницей, что других работ по зоологии тогда было мало. ■

## Литература

1. Удальцова В.А. Ремесло или искусство // Природа. 2002. №4. С.92—96.
2. Лункевич В.В. От Гераклита до Дарвина: Очерки по истории биологии. М.; Л., 1936.
3. Плавильщиков Н.Н. Гомункулус: Очерки из истории биологии. М., 1971.

# 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

Учредители:  
Президиум РАН,  
Издательско-производственное  
и книготорговое  
объединение «Наука»  
Адрес издателя: 117997,  
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119991,  
Москва, ГСП-1, Мароновский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (095) 238-26-33  
Подписано в печать 16.12.2002  
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 6820  
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»  
Академиздатцентра «Наука» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6