

# ПРИРОДА

5 09



**В НОМЕРЕ:****3 Резникова Ж.И.****Социальное обучение у животных**

Наблюдая за успешными действиями сородичей, животные могут получить множество жизненно важных знаний — как добыть пищу, найти убежище, построить жилище и т.д. Однако поведенческие традиции формируются не во всех популяциях. Что же способствует этому, а что препятствует?

**13 Скорехватов М.Д.****Солнечные нейтрино и международный проект «Борексина»**

Первый в мире сцинтилляционный детектор солнечных нейтрино, построенный в подземной лаборатории Гран-Сассо (Италия), начал работать два года назад. Какие результаты получены за это время и на что можно рассчитывать в будущем?

**25 Кароль И.Л., Киселев А.А.****Климатическая модель: инструмент или игрушка?**

Уже сегодня модели в состоянии качественно верно описывать многое из того, что происходит в климатической системе Земли. И это дает надежду на успешность будущих прогнозов климата.

**32 Михайлов В.М.****Теплые поймы холодных рек**

В тундролесьях северо-восточной части Азии вдоль рек зоны многолетней мерзлоты тянутся многоярусные смешанные леса, растущие на талых грунтах — таликах. Их образование — важная проблема мерзловедения.

**39 Ма Цзинь****Вэньчуаньское землетрясение в мае 2008 г. в Китае**

Катастрофическое землетрясение 12 мая 2008 г. в китайской провинции Сычуань в долговременном аспекте не было неожиданным. Тем не менее, точного предсказания и предупреждения об опасности непосредственно перед толчком (от нескольких дней до месяцев) не поступило.

**48 Гончаров Г.А.****История отечественной двухступенчатой водородной бомбы и научная этика**

Окончание

**Заметки и наблюдения****56 Малолетко А.М.****Владимировка — древнейший медный рудник Алтая****Красная книга****59 Москалюк Т.А., Кирпичникова В.А.****Копытень и людорфия****Вести из экспедиций****66 Булавинцев В.И., Калякин В.Н., Хахин В.И.****Белые пятна Новой Земли****Биография современника****72 Голубовский М.Д.****Необычайно одаренная личность****81****Новости науки**

Темная энергия «расталкивает» вещество (81). Переопределены параметры вращения нашей Галактики (82). Сверхшения и планы радиоастрономии. Вибс Д.З. (82). Визуализация динамики атомов и молекул на графене (83). Нанолазеры (83). Сверхпроводимость силана SiH<sub>4</sub> (84). Получение графенов в макроскопических количествах (84). Ящерицы и муравьи. Семенов Д.В. (85). Катастрофические провалы на горных массивах (86). Предвестники нестабильного смещения разлома (86). Погребальный обряд как этноисторический источник (87).

**Рецензии****89 Волков В.П.****Гимн профессии**

(на кн.: Флоренский П.В. «Петрограф» на всю жизнь. К 70-летию научного студенческого кружка)

**92****Новые книги****Встречи с забытым****94 Кузьмин А.В.****Четыреста лет «Звездной вести»**

## CONTENTS:

- 3 Reznikova Zh.I.**  
**Social Learning in Animals**  
*By observing successful actions of their congeners, animals can obtain a lot of vital knowledge: how to procure food, find a shelter, build a dwelling and so on. However, behavioral traditions arise not in all populations of the same species. What is conducive to their formation and what hinders this?*

- 13 Skorokhvatov M.D.**  
**Solar Neutrino and International Project «Borexino»**  
*The world first scintillation detector of solar neutrino built in underground laboratory Gran-Sasso (Italy) began operating two years ago. What results were obtained since then and what can be expected in future?*

- 25 Karol I.L., Kiselev A.A.**  
**Climate Model: A Tool or a Toy?**  
*Even now models already can qualitatively correctly describe lots of things occurring in the Earth climate system. And this inspires hope for success of future climate prognoses.*

- 32 Mikhailov V.M.**  
**Warm Flood-lands of Cold Rivers**  
*In forested tundra of North-Eastern Asia along river valleys traversing permafrost zone the many-tier mixed forests grow on thawed ground patches – taliks. Formation of these taliks is an important problem of geocryology.*

- 39 Ma Jin**  
**Wenchuan Earthquake in China, May 2008**  
*A catastrophic earthquake occurring 12 May 2008 in Chinese province Sichuan was not a surprise in long-term aspect. Nevertheless, an accurate warning about danger was not obtained immediately before the shock (in time interval from several days to months).*

- 48 Goncharov G.A.**  
**History of Soviet Two-stage Hydrogen Bomb and Scientific Ethics**  
 Part Two

### Notes and Observations

- 56 Maloletko A.M.**  
**Vladimirovka – the Most Ancient Copper Mines of Altai**

### Red Book

- 59 Moskaljuk T.A., Kirpichnikova V.A.**  
***Asarum sieboldii* and *Luehdorfia puziloi***

### Notes from Expeditions

- 66 Bulavintzev V.I., Kalyakin V.N., Khakhin V.I.**  
**Blank Spots of Novaya Zemlya**

### Biography of our Contemporary

- 72 Golubovsky M.D.**  
**A Rarely Gifted Personality**

### 81 Science News

Dark Energy «Pushes» Matter Away (81). Our Galaxy Rotation Parameters Are Redefined (82). Advances and Plans of Radioastronomy. Wiebe D.Z. (82). Visualization of Atoms Movements on Graphen Surfaces (83). Nanolasers (83). Superconductivity of Silane SiH<sub>4</sub> (84). Production of Macroscopic Quantities of Graphen (84). Lizards and Ants. Semenov D.V. (85). Catastrophic Collapses on Mountain Massives (86). Precursors of Non-stable Fault Displacement (86). Funeral Rites as Ethno-historical Source (87).

### Book Review

- 89 Volkov V.P.**  
**A Hymn to Profession**  
 (on book: Florensky P.V. «Petrograph» for Life. To 70th Anniversary of a student scientific study group)

### 92 New Books

### Encounters with Forgotten

- 94 Kuzmin A.V.**  
**Quadricentennial of «Stellar Bulletin»**

# Социальное обучение у животных

Ж.И.Резникова

Известный канадский натуралист и писатель Э.Сетон-Томпсон еще в конце XIX в. отмечал, что животные наследуют знания от предков, приобретают самостоятельно и усваивают от сородичей. Последний источник в современной поведенческой и эволюционной экологии трактуется как социальное обучение. Этим путем животные могут получить множество жизненно важных сведений: чем питаться и как добывать пищу, как устраивать жилище и где искать убежища, кто годится для создания семьи, чего ждать от представителей других видов (они могут быть объектами охоты, врагами, конкурентами или, напротив, полезными сожителями).

В принципе каждую из перечисленных жизненных задач животные могут решить и другими путями. Мы отчетливо представляем, что поведение есть результат взаимодействия врожденных стереотипов, индивидуального и социального опыта. Но и до сих пор остаются неясными вопросы, волнующие эволюционистов: как и при каких обстоятельствах новые формы поведения, освоенные одиночками, становятся достоянием популяции и как передаются из поколения в поколение. Для ответа на вопросы необходимо исследовать проявления социального обучения и его соотношение с другими компонентами в общей картине поведения животных.



**Жанна Ильинична Резникова**, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института систематики и экологии животных СО РАН, заведует кафедрой сравнительной психологии в Новосибирском государственном университете. Среди книг и учебников: «Экология, этология, эволюция» (М., 2000—2001); «Интеллект и язык животных и человека. Основы когнитивной этологии» (М., 2005); «Animal Intelligence. From Individual to Social Cognition» (Cambridge, 2007).

Важную роль социального обучения давно осознавали зоопсихологи, экологи и эволюционисты: В.А.Вагнер, А.Н.Северцов, Н.П.Наумов, Б.П.Мантейфель, К.Э.Фабри. Известный генетик М.Е.Лобашев предложил в 1961 г. концепцию сигнальной наследственности. В ее основе лежит идея о том, что между поколениями животных существует не только материальная преемственность, воплощенная в форме генетического материала, но и «нематериальная» передача элементов поведения посредством обучения. Другие авторы называли такую передачу преемственностью или даже культурой; в этом плане культура человечества есть воплощение сигнальной наследственности [1].

Полученные в последние годы данные о вовлечении социального обучения в самые разнообразные популяционные процессы — от становления «культурных традиций» до полового подбора — породили волну интереса к этой форме поведения животных. В данной статье я предлагаю читателям обобщенную картину современных представлений об этом направлении в этологии\*.

\* Подробно об этом см.: Резникова Ж.И. // Журнал общ. биол. 2004. Т.65. №2. С.136—152; Резникова Ж.И. Интеллект и язык животных и человека. Основы когнитивной этологии. М., 2005; Резникова Ж.И., Пантелеева С.Н., Яковлев И.К. // Информационный вестник ВОГиС. 2008. Т.12. С.97—111. Обширнейшую библиографию любознательный читатель найдет в этих работах, а также на сайте <http://www.reznikova.net>.

## Формы социального обучения: от «азов» до «суммы технологий»

Первых исследователей социального обучения, в частности Э.Торндайка и В.Келера, привлекали самые сложные его проявления, прежде всего способность животных к **имитации**, т.е. точному копированию действий или целых последовательностей. Впоследствии выяснилось, что непревзойденные имитаторы — это дети. Имитировать могут также антропоиды, воспитанные людьми [2]. В естественных ситуациях антропоиды редко проявляют имитацию, у других видов способностей к ней пока не обнаружено.

Близкая, но менее сложная форма социального обучения — **подражание** (emulation): наблюдая за действиями сородича, особь устремляется к той же цели, но достигает ее другим способом. Хорошо иллюстрируют подражание эксперименты М.Томаселло. Шимпанзе, обученные подгрывать лопаточкой кусочки лакомства и отправлять их в корзинку через отверстие в контейнере, свое умение демонстрировали нетренированным сородичам. Те, наблюдая за действиями «актеров», тоже достигали успеха, однако самостоятельно ни разу не справились с задачей. Если бы они в точности воспроизводили действия обученных шимпанзе, то легче добились бы цели, но в реальной ситуации они доставали лакомства различными, чаще всего окольными путями. Во множестве подобных опытов, проделанных Л.А.Фирсовым, нетренированные шимпанзе научились открывать запоры и доставать пищу, наблюдая за действиями сородичей. В экспериментах выявлена способность к подражанию не только у приматов, но и у грызунов, птиц, рыб и даже у муравьев.

На основе подражания формируются устойчивые поведенческие традиции в популяциях, т.е. «изобретенные», ранее не применявшиеся формы поведения, инновации. Если они распространяют-



«Сумма технологий» в сообществах животных усваивается путем внимательных наблюдений.

Фото из архива Ф. де Ваала

ся в популяции и передаются из поколения в поколение в виде освоенных навыков, то становятся культурной традицией, а «сумма технологий» — совокупность нескольких культурных традиций — составляет культуру, характерную для популяционной группировки. Но культура — редкое явление в мире животных. В природе чаще всего наблюдаются не подражание и имитация, а более простые формы социального обучения. Они привлекали меньше внимания исследователей и явно недооценивались до недавнего времени.

**Заразительное поведение** — самая простая форма, ее можно описать правилом: «если все бежит, я бегу тоже». Тревожные движения в стаях, дружные крики («хоры») относятся к заразительному поведению; у человека — это зевота и смех.

«**Социальное облегчение**» (social facilitation) — широко распространенная и самая универсальная форма обучения. Ее суть в том, что проявление той или иной формы поведения (и выполнение простых заданий) облегчается у животных (и у людей) в присутствии соплеменников. Появление термина связывают с работами американского психолога Р.Зайонца. В 60-е годы на основе однотипных опытов на людях, крысах и тараканах он сделал вывод, что эта форма социального обучения не требует привлечения когнитивных функций. С тех пор получено множество данных в природе и в лаборатории, которые подтверждают широкое распространение «социального облегчения» в мире животных, и в качестве основного фактора выделено уменьшение страха и тревожности.

**Подражательное ассоциативное обучение** отмечается в тех случаях, когда простые условно-рефлекторные связи возникают и закрепляются в процессе подражания. Это чаще всего связано с пищевыми предпочтениями и страхом перед хищником. Реакции сородичей служат «катализаторами», благодаря которым быстро формируются определенные условные связи, тогда как метод проб и ошибок потребовал бы гораздо большего времени.

## Любите друга — источник знания

Обмен информацией между сородичами составляет одно из важных преимуществ жизни в группах. Некоторым видам свойственна «намеренная» передача сообщений. Примерами могут быть «танцы» пчел и тактильные контакты муравьев, служащие для сообщения о координатах источника пищи, а также акустические сигналы зеленых мартышек и сурикат об опасности, грозящей с земли или с воздуха. Гораздо чаще животные полагаются на «публичную информацию», реагируя не столько непосредственно на новый запах или незнакомый предмет, сколько опосредованно, ориентируясь на поведение сородичей. Социаль-

ное обучение играет заметную роль в таких важных аспектах естественной жизни животных, как выбор пищи, избегание хищников и даже выбор полового партнера.

**Диета по подражанию.** При выборе пищи действуют многие элементы поведения: врожденное узнавание съедобных объектов; ассоциативное обучение; запечатление (импринтинг), усиливающее запоминание, и, наконец, подражание сородичам. Например, однодневные цыплята, которым показывали нарисованные стрелки, будто бы клюющие цветные кнопки, в дальнейшем предпочитали пищу, окрашенную в тот же цвет, что и кнопки, «съедобные» для стрелок. Для молодых млекопитающих значительную роль в выборе будущей пищи играет запах материнского молока. Он позволяет узнать, чем питается мать, и формирует вкусовые предпочтения. Кроме того, детеныши обычно новую еду пробуют в присутствии взрослых. Взаимодействие социального и индивидуального опыта у млекопитающих детально проанализировано на примере крыс. Вечная боязнь нового (неофобия) позволяет им избегать многих опасностей, но она же мешает оперативно осваивать новые виды пищи. Здесь на помощь приходит социальное обучение. Это показано в экспериментах Б.Галефа, в которых участвовали крысы — демонстраторы и наблюдатели. В одном из опытов «актеру» скармливали пищу с запахом крыцы или какао и помещали на полчаса в одну клетку с наблюдателем, который мог ознакомиться с новыми запахами, обнюхивая сородича. Когда наблюдателю затем предлагали на выбор ранее не опробованную пищу, он уверенно выбирал ту, запах которой уловил при контакте с актером. Оказалось, что демонстратор может играть свою роль даже во сне. Пищу с характерным запахом, нанесенную на морду или зубы (но не на хвост!) анестезированному животному, обнюхавший его наблюдатель в дальнейшем распознавал как безопасную.

В экспериментах с разными видами выяснилось, что для животных, наблюдающих за жующими и клюющими сородичами, имеют значение возраст демонстратора, выраженность энтузиазма, с которым он потребляет пищу, а нередко еще и социальный статус. Важны и некоторые свойства самого наблюдателя, в частности мотивация и возраст. У домашних кур путем подражания вырабатывается отвращение к опасной пище лишь в раннем возрасте. Цыплята не клюют то, от чего отказались старшие птицы. Взрослые куры судят о привлекательности пищи, наблюдая за сородичами, но при этом испытываемые сородичами недопомогания или их отвращение не лишают кур решимости попробовать пищу. Они как бы руководствуются правилом: если сородичи клюют что-то, значит, это стоит попробовать (если кого-то стошнит — это его проблема). Если же не клюют, значит, это не пища, пробовать не надо. Подоб-

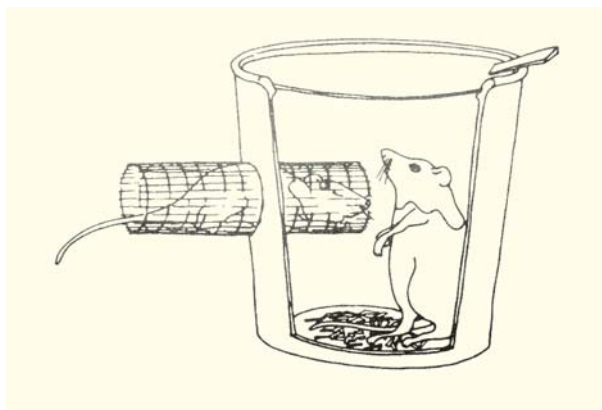


Рисунок экспериментальной установки, с помощью которой Б.Галеф исследовал роль подражания в выборе пищи у крыс. Крыса-«актер» может играть эту роль даже во сне.

ные наблюдения помогают объяснить, казалось бы, парадоксальные результаты, полученные Галефом на крысах. Животные, наблюдавшие за мучениями сородичей, съевших болезнетворную приманку, пробовали ее даже охотнее, чем члены той группы, которая действовала самостоятельно. Для них важно само смыкание челюстей сородича на новой пище. Однако в действительности отравить крыс чрезвычайно трудно: они пробуют новую еду буквально по крошке и способны связать свои вкусовые ощущения с болезненными проявлениями, которые возникают у них позже. Отвращение к пище формируется у этих животных главным образом на основе индивидуального, а не социального опыта.

«Принимая решения» о том, что можно есть, а что нельзя, животные больше полагаются на социальный опыт в первом случае, чем во втором. В эволюционном плане для них было бы весьма полезно приобрести отвращение к несъедобной пище, просто наблюдая за тем, как сородичи мучаются от рвоты. Но по результатам исследований выясняется, что предшественники большинства видов полагаются только на собственные ощущения.

**Делай как я — умрешь не сейчас.** «Публичная информация» об опасности расширяет адаптивные возможности популяций. Например, позволяет избежать атаки хищника, не проверяя реальность угрозы на собственном опыте, ведь он может никогда уже более не пригодиться. В основе тревожных коллективных реакций в стаях рыб, птиц, копытных животных лежит заразительное поведение, т.е. самая простая форма социального обучения.

В случаях, когда требуется не сиюминутная реакция, а получение нового и прочного «знания», оно обеспечивается более сложной формой социального обучения — ассоциативной. Известно, что у многих животных боязнь хищников не врожденная, а развивается или, по крайней мере,

дополняется, при взаимодействии с сородичами. Это показал Б.П.Мантейфель в опытах с рыбами. Результаты интересных опытов с макаками-резусами, проведенных в конце 1980-х годов С.Минеккой и коллегами, позволили понять, что поведение, ответственное за реакцию страха перед змеями, обусловлено сочетанием социального обучения и врожденной предрасположенности к образованию определенных ассоциаций. Когда взрослые макаки в естественных условиях встречаются со змеей, их реакции напоминают преувеличенный наигрыш актеров в немых фильмах: на лице ужас, рот широко разинут в крике, руки воздеты вверх, животное в панике устремляется прочь. Однако обезьяны, воспитанные в неволе, не боятся змей. Значит, реакция страха змей у макаков-резусов не врожденная, ее, как оказалось, можно сформировать путем социального обучения. Лабораторные обезьяны приобретают устойчивый страх, сохраняющийся годами, если им дать возможность наблюдать за реакцией особи-актера, и более того, особи-киноактера. Видя на экране сородичей, которые проявляют все признаки боязни змей, обезьяны быстро перенимали эти реакции, даже если змеи были игрушечными. Казалось бы, вывод очевиден: макаки получают навыки избегать змей путем социального обучения. Но дело обстоит не так просто. В опытах экспериментаторы отредактировали видеозапись (змеей в кадре заменили цветком на длинном стебле), и получилось, что в одних случаях животные наблюдали за макаками, которые шарахались от змеи, а в других — от цветка. Оказалось, что обезьяны, несмотря на трагическую мимику и вопли сородичей, «пугающихся» цветов, оставались к ним вполне равнодушными, тогда как змея исправно повергала их в панику. Это говорит о наследственной предрасположенности обезьян легко связывать страх с одними стимулами и совсем не связывать с другими. В естественных условиях такая предрасположенность облегчает быстрое распространение адаптивных стереотипов поведения в популяции.

**Брак по эволюционному расчету и... по наблюдению.** Брачное поведение животных подвержено существенному давлению отбора, и реакции на стимулы, исходящие от потенциальных партнеров, у многих видов строго запрограммированы. Казалось бы, здесь для социального обучения места не остается. Однако в экспериментах выяснилось, что у ряда видов брачное поведение совершенствуется за счет социального опыта. Так, самки могут ориентироваться на реакции себе подобных, как бы руководствуясь правилом: если этот самец подошел для соседки, он хорош и для меня. Но они делают это осмотрительно, соотносясь с вторичными половыми признаками самца. В экспериментах на рыбках гуппи, когда самкам предлагали на выбор по два самца, на предпочтения влияли окраска самца

и наблюдения за тем, как он спаривался с другими самками. При незначительных различиях в окраске (площади окрашенных участков) самки предпочитали того, кого наблюдали «в деле». Если же различия превышали 40%, выбор падал на более ярких. Это означает, что хотя социальное обучение влияет на выбор партнера, вторичные половые признаки важнее, чем социальный опыт.

В экспериментах с японскими перепелами исследователи добавляли к облику самцов новые черты — надевали на птиц белые шапочки. Одни самки спаривались с самцами в шапочках (поскольку никакого выбора не было), а другие наблюдали за этим через прозрачную перегородку. Впоследствии самкам-зрительницам дали возможность выбора, и они предпочли самцов в шапочках обычным партнерам. К сходным результатам привели аналогичные эксперименты с моногамными видами, в частности зебровыми амандинами. Это означает, что социальные механизмы могут быть одним из существенных факторов полового подбора.

### Подражание с умом

Сравнив подражательное поведение у разных видов животных, можно оценить эволюционную роль интеллекта в формировании социального обучения. Основные экспериментальные методы изучения когнитивных аспектов подражания — это «искусственный фрукт» и «два способа — один результат». Оба метода предложил Торндайк еще в 1911 г. «Искусственным фруктом» называют разные ящики — от простой коробочки с крышечкой до контейнеров, крышки которых укреплены на шарнирах и снабжены замками разной сложности, так что для их вскрытия нужна сообразительность. Имитируется природная ситуация, когда доступ к вознаграждению требует от животных более или менее сложного манипулирования объектом. В ла-



Мармозетка открывает простой «искусственный фрукт» — коробочку с крышечкой.

Здесь и далее фото из лаборатории Л.Губера



Попугаи кеа способны открыть самые сложные варианты «искусственных фруктов». Собакам предлагают задачи попроще.

боратории «искусственные фрукты» можно открыть двумя способами, и этому экспериментаторы обучают две группы демонстраторов. Обе группы необходимы для метода «два способа — один результат». Вот пример подобного рода. В одной из серий опытов Торндайка цыплята должны были выбирать из «проблемного ящика» на волю. Наблюдая за тем, как это делают другие, они обучались быстрее. Затем цыплят-демонстраторов разделили на две группы и обучили двум разным способам решения задачи. Наблюдатели выбирали тот способ, который применяли сородичи. Это и позволило Торндайку прийти к выводу об определяющей роли подражания в обучении цыплят. Тот же подход был позднее использован при исследовании имитационных способностей попугайчиков. Одна группа птиц наблюдала за демонстратором, удалявшим крышку с бутылки, поворачивая и толкая ее клювом, а другая — за тем, который отвертывал ее ногой. Если каждая группа повторяет действия именно «своего» демонстратора, значит, животные решают задачу с помощью социального обучения. В противном случае члены каждой группы случайным образом выбирали бы тот или иной

способ. Подобные опыты проводили с голубями, скворцами, воронами, попугаями, перепелами, крысами, обезьянами разных видов. Во всех случаях наблюдатели успешно повторяли действия «своих» демонстраторов.

Использование «искусственных фруктов» разной сложности дает возможность судить о когнитивных аспектах социального обучения. В одном из экспериментов попугаям кеа предложили задачу такого же уровня сложности, что и обезьянам. Пять попугаев наблюдали за «работой» двух тренированных сородичей, умевших открывать крышку ящика с приманкой двумя разными способами; пять птиц контрольной группы должны были справляться с задачей самостоятельно. Демонстраторов обучили разной последовательности действий. Одного — вытащить спицу, открыть болт против часовой стрелки с задней части крышки и вынуть его из кольца. Второго научили откручивать болт с передней части крышки по часовой стрелке, вытаскивать спицу и вынимать болт. Сравнив последовательности действий попугаев из разных групп, авторы пришли к выводу, что демонстрации несомненно способствовали





Попугай внимательно следит за действиями лидера, чтобы потом повторить их.

достижению лучших результатов у птиц-наблюдателей по сравнению с контрольными. Наблюдатели постигали возможности «искусственного фрукта», действовали с нужными его элементами и достигали успеха значительно быстрее, чем члены контрольной группы. Однако попугаи не имитировали демонстраторов в точности. Возможно, они и не стремились к этому. Недаром кеа называют шимпанзе среди птиц. Их динамичный и игровой стиль жизни не предусматривает внимательного и точного копирования действий лидера. Им достаточно приблизительно представить возможности объектов, чтобы затем каждая птица решила задачу по-своему. Сочетание индивидуальной предприимчивости и быстрого распространения навыков в популяциях позволяет кеа осваивать нововведения человека. Например, они открывают запоры любой сложности, и единственный способ уберечь от разграбления, скажем, мусорный ящик — закрыть его на ключ, а ключ надежно спрятать.

### «Культурные» и «некультурные» животные

В многочисленных лабораторных опытах выявлена способность разных видов осваивать новые формы поведения, подражая сородичам. Но как распространяются новшества в естественных популяциях, какие факторы способствуют, а какие — препятствуют этому? Это один из самых интересных и сложных вопросов, волнующих современных исследователей. Новые данные могут пролить свет на связь между генетическими и «культурными» составляющими в эволюции.

В естественных условиях животные обычно весьма консервативны в поведении. Особи, которые делают что-нибудь непривычным для остальных образом, привлекают внимание, но это от-

нюдь не значит, что им будут с готовностью подражать. Необычное поведение сородича наблюдют издали и держатся подальше. Однако если индивидум достиг успеха, применив, скажем, новый способ добывания пищи или защиты от опасности, он сам, возможно, будет повторять удачные действия вновь и вновь. У новаторов со временем могут найтись последователи, ставшие свидетелями того, что новая форма поведения не причиняет сородичу вреда, а напротив, ведет к успеху. Во многих ситуациях исследователи наблюдали проявление инноваций в группировках животных. И это можно было предсказать, исходя из резкого изменения условий среды: сокращения количества пищи, вынужденных миграций животных и т.п. В меняющихся условиях проверяются на прочность многие адаптации, в том числе поведенческие. Новые формы поведения отдельных особей могут оказаться более адекватными изменившимся условиям, чем видовые стереотипы, пригодные ранее.

Вопрос, могут ли отдельные «продвинутые» индивидумы распространить новые формы поведения в популяции, пока не имеет ответа. Исследованы лишь некоторые аспекты становления поведенческих традиций в популяциях.

Умеют ли животные учить друг друга? Инструктирование («учительство») — одна из самых сложных форм сигнальной наследственности. В теории социального обучения под учительством понимается ситуация, когда один индивидум меняет свое поведение, затрачивая усилия в пользу наивного наблюдателя и делая его обучение более эффективным. Учительство может проявляться в двух формах: в совершенствовании видового стереотипа поведения и в распространении инноваций.

Первая форма сравнительно обычна, особенно среди хищников, шлифующих охотничьи навыки своих потомков. Эта форма составляет неотъемлемую часть онтогенеза у ряда видов животных.

Вторая форма учительства крайне редко встречается у животных, она требует поведенческих стереотипов «сверх необходимого». Как будет видно, инновации могут распространяться в популяции и значительно более простыми способами, чем учительство. Однако внедрение нового опыта именно этим путем чрезвычайно интересно, поскольку позволяет познать пределы когнитивных способностей, связанных с социальным обучением животных.

Совершенствование видовых стереотипов поведения на основе родительских «уроков» описано для множества зверей и птиц. Но у многих видов дети рано расстаются с родителями и в дальнейшем могут рассчитывать только на свои врожденные стереотипы и приобретение индивидуального опыта. Хорошо иллюстрируют это результаты исследования И.Эйбл-Эйбесфельдта на хорьках. Хищники учатся обездвигивать жертву

укусом в затылок самостоятельно, на основе проб и ошибок, нанося в первое время укусы беспорядочно, в разные части тела убегающей добычи, и часто упуская ее. Комплекс охотничьего поведения оттачивается в раннем детстве, в играх с другими членами выводка. Наследственная склонность к формированию определенных связей помогает быстрому «дозреванию» охотничьего поведения хорьков и других видов кунных. У подавляющего большинства их видов детеныши быстро теряют контакты с матерью, братьями и сестрами и совершенствуются самостоятельно. Это означает, что искусный охотник в мире животных может сформироваться и без родительских уроков. А так ли уж они нужны? Не проявляется ли учительство «вхолостую», поскольку видовые стереотипы могут сформироваться и без внешних воздействий?

Вероятно, ответы можно найти, проанализировав разнообразие видовых репертуаров поведения. Для одних видов инструктирование необходимо для формирования поведения, для других — нет. Чтобы прояснить причину необходимости учительства, придется, видимо, обращаться к эволюционной истории каждого исследуемого вида и к анализу изменчивости среды обитания в историческое время его становления. Нужны специальные исследования в каждом конкретном случае, чтобы разграничить формы поведения, составляющие видовой стереотип.

Исследователи, пытавшиеся адаптировать детенышей крупных хищников к жизни в природной среде обитания, были вынуждены развивать и дополнительно шлифовать видовые формы поведения своих питомцев, т.е. в определенной степени заменять зверям родителей. Хорошим примером здесь служит многолетний опыт В.С. Пажетнова с бурными медведями. Естественные взаимоотношения растущих гепардов с матерями исследованы Т.М.Кэйро в национальном парке Серенгети. Выяснилось, что результативность охоты молодых хищников улучшается крайне медленно за 10 месяцев материнской школы. Хотя поведение матери и выстраивается с точки зрения человека-наблюдателя в логический ряд «разумных» действий, «тупость» учеников заставляет осторожно подходить к выводу, что именно инструктирование делает молодых гепардов охотниками. К гипотезе о сравнительно малозначимой роли материнского наставничества автор пришел на основании экспериментов с домашними кошками. Разброс материнских «инструкций» у них оказался весьма существенным. Одни кошки принесли добычу котяткам слишком рано, когда те еще сосали молоко, другие не реагировали на поведение котят, играющих с подвижной жертвой. В целом уроки матери приводили к более раннему формированию охотничьего стереотипа у потомства, однако наследственно фиксированная система действий «перевешивала» учительство.

У хищных птиц роль учительства также была, видимо, преувеличена в ранних исследованиях. Необходимость инструктирования всегда казалась очевидной, исходя из «разумной» последовательности действий родителей, их демонстраций охотничьего поведения от простого к сложному. Однако наблюдения за птенцами скопы, воспитанными в неволе без родителей, свидетельствуют о другом: типичный для вида охотничий стереотип добывания рыб из воды успешно развивается и без участия взрослых птиц.

Данных о второй форме учительства, т.е. о распространении инноваций, пока очень мало. Самый впечатляющий пример относится к искусственной ситуации: шимпанзе Уошо обучала своего приемного сына Лулиса сигналам жестового языка. Другой пример тоже касается шимпанзе и связан с многолетними исследованиями К.Боша. Популяция обезьян была известна «культурной традицией»: они разбивали орехи с помощью каменных «молота и наковальни», и матери передавали навык детенышам тремя способами. Первый из них — стимулирование — наблюдали в 387 случаях. Матери оставляли «молот» на наковальне вместе с ядрами ореха, когда детеныш приближался к ней. Такое поведение необычно для шимпанзе: как правило, они не оставляют свое орудие, так как его могут утащить сородичи. Второй способ — помощь: мать передавала детенышу или молот (287 случаев) или расколотый орех (316 случаев). Наконец, третий способ, а именно инструктирование, наблюдалось лишь дважды за 10 лет наблюдений. Один раз шестилетний «мальчик» забирал у матери почти все орехи и отнимал молот. Видимо, «решив» поскорее приучить его к самостоятельности, мать брала у него молот, чистила его и помещала орех на наковальне в более подходящую позицию, чем это делал сын. После этого возвращала ему орудие и следила, как сын добывает ядро и ест его. Во втором случае мать помогала



Шимпанзе раскалывает орех с помощью молота и наковальни.

Фото из архива К.Боша

своей пятилетней дочери таким же образом правильно сориентировать орех на наковальне.

Есть ли у животных культура? Развитие когнитивной этологии и появление новых экспериментальных методов безусловно способствовали раскрытию новых граней интеллекта животных (подробнее см. [3]). Поэтому исследователи все больше интересуются «второй наследственностью» [4] — передачей и закреплением поведенческих традиций в популяциях. Это напрямую перекликается с концепцией сигнальной наследственности Лобашева. Во все учебники по поведению вошли два примера «культуры» у животных, описанные в середине 20-го столетия. В одном речь идет о британских синицах, которые проклеивали крышки в бутылках, доставляемых молочниками к дверям домов, и пили сливки. Техника воровства быстро распространилась в популяции. Р.Хайнд и Дж.Фишер, опубликовав эти наблюдения, предложили термин «культурная преемственность» для описания феномена передачи навыков путем подражания. Второй пример — «культура мытья овощей» у японских макаков. Обычай отмывать бататы от грязи в морской воде распространился сна-



Шимпанзе добывает термитов с помощью «удочки».  
Фото К.Тьютин

чала среди молодых самок и их матерей, а спустя 10 лет ему следовали почти все члены группы.

Накопленные данные о распространении новых форм поведения в популяциях разных видов привели к разграничению понятий «культура» и «поведенческие традиции», по крайней мере на количественном уровне. Распространение и укоренение какой-либо одной новой формы поведения в популяции называют поведенческой традицией. Это те случаи, когда поведенческая модель (или поведенческий стереотип)

- не наследуется, а приобретается в ходе обучения;
- проявляется у большого количества особей в локальной группе;
- наблюдается у животных разных поколений;
- отсутствует в других популяциях того же вида.

Под культурой у животных принято понимать целый блок поведенческих традиций, отличающих конкретную популяцию. Приведенные два примера, таким образом, относятся к поведенческим традициям. Количественная разница существенна, однако суть у этих явлений одна и та же: культурная преемственность через социальное обучение — основной этологический механизм распространения новых форм поведения.

Поведенческие традиции описаны у разных видов обезьян, ворон, крыс и других животных, способных к сложной социальной и психической деятельности. Недавно открыто распространение навыка «орудийной деятельности» в популяции бутылконосых дельфинов, обитающих у западных берегов Австралии. Дельфины отрывают от субстрата куски губок и используют их для того, чтобы защищать, как перчаткой, чувствительный рострум, когда добывают придонных животных [5]. Наблюдения и ДНК-анализ позволили предположить, что поведенческая традиция распространяется путем социального обучения от матерей к детям, а автором инновации была одна самка, «Ева-губконосица», как шутят исследователи.

«Очаги культуры» у шимпанзе и орангутанов выявлены в результате многолетних исследований. За шимпанзе наблюдали в семи местообитаниях Африки, причем если суммировать время, затраченное всеми исследователями, оно составит 151 год. Было выделено 39 устойчивых поведенческих моделей, которые различались в изолированных друг от друга группах. Представители этих «культур» по-разному использовали орудия для добывания пищи, исполняли ритуальные танцы и сооружали укрытия. В шести популяциях орангутанов на островах Борнео и Суматра приматологи выделили 24 модели поведения, которые могут быть рассмотрены как культурные варианты [6]. Орангутаны использовали листья как салфетки и «перчатки» для защиты пальцев от колючек, шипов и ядов, применяли палочки для вы-

уживания насекомых из отверстий и для чесания, а плотные листья — для того, чтобы, прижав их к губам, издавать специфические гудящие звуки. Особенно интересен пример «орудийной культуры» — выживания ветками сердцевины из колючих плодов. Животные только одной из шести популяций пользовались такими орудиями, хотя у других в распоряжении было вдоволь колючих плодов и палочек. По мнению исследователей, существуют «культурные границы», разделяющие популяции.

Вопрос о роли сигнальной наследственности в формировании поведенческих традиций очень важен и требует специальных исследований. Ценны и редкие случаи многолетнего мониторинга «очагов культуры» со времени их возникновения. Так, в одной популяции японских макаков в 1979 г. впервые зафиксировано применение камня для раскалывания орехов молодой самкой. Спустя 20 лет техникой владели 80% членов популяции [7]. Исследователи сравнили действия макаков-неофитов и обезьян из географически удаленной популяции, в которой камни использовались с «незапамятных» времен. Стереотипы поведения в популяциях оказались неразличимы. Это означает, что двигательные комплексы, которые вовлечены в орудийную деятельность, видоспецифичны и имеют наследственную основу.

В то же время наблюдения за популяциями «культурных» шимпанзе выявляют множество не прижившихся потенциально полезных инноваций. Шимпанзе из Махале и Гомбе (национальных парков в Западной Танзании) не используют камни, как это делают обезьяны из Таи и Боссу, для разбивания орехов. Хотя в этих местах хватает и камней, и твердых орехов, Дж.Гудолл отметила единственный в Гомбе случай использования молотка. Она предположила, что разбивание орехов распространится в популяции, однако в последующие 28 лет этого не произошло, и «щелкунчиками» обезьяны Гомбе так и не стали.

Подобные примеры заставляют внимательнее относиться к исследованию механизмов, благодаря которым распространяются новые формы поведения. Необходимо задуматься о роли не только «второй» (социальной), но и «первой» (генетической) наследственности в формировании поведенческих традиций в популяциях. Поэтому важно найти универсальные формы социального обучения, включающие компоненты как инновационного, так и генетически обусловленного поведения.

**«Распределенное социальное обучение» как альтернатива «животной культуре».** В последние годы в научной литературе наметилась тенденция присваивать «высшие категории» обнаруженным феноменам социального обучения. Так, если к источнику пищи один муравей ведет другого (т.е. они бегут тандемом), это рассматривается как «учительство» [8]. Между тем известно,



Шимпанзе обучаются использованию орудий в процессе дружеского общения.

Фото М.Ванчатовой

что бег тандемом к источнику пищи — один из самых примитивных способов коммуникации муравьев. Орудийная деятельность новокаледонских галок трактуется как феномен культуры [9], возникшей за счет подражательного обучения, хотя роль врожденных компонентов в развитии этой формы поведения до конца не выяснена. Однако естественно задать вопрос: если у животных есть культура, почему они сидят голые под дождем?

Распространение сложных форм поведения в популяциях далеко не всегда основано на становлении культурных традиций. Это может быть обусловлено и более простыми способами социального обучения. Полагаю, гипотеза «распределенного социального обучения» (она основана на экспериментальных данных, полученных при исследовании охотничьего поведения муравьев рода *Myrmica*) вполне объясняет внедрение новых для популяции поведенческих стереотипов [3]. Для этого достаточно, чтобы в популяции имелись хотя бы немногочисленные носители целостных стереотипов, а остальные животные обладали бы неполными генетическими программами, запускающими такие стереотипы\*. Наличие «спящих» фрагментов программ создает у их носителей врожденную предрасположенность к определенной последовательности действий. Для достройки целостного стереотипа достаточно простых форм социального обучения. У наших муравьев распространение охотничьего стереотипа обеспечивается как социальным обучением («облегчением»), так и генетически детерминированным поведением.

\* Подробнее см.: Резникова Ж.И. Маленькие труженики большой науки // Природа. 2007. №12. С.25—34.

Такой же вывод можно сделать из результатов, полученных недавно в исследованиях орудийного поведения новокаледонских галок\* (*Corvus moneduloides*). В его формировании роль наследственно закрепленных «заготовок» поведения оказалась весьма существенной, а целостный стереотип проявился, видимо, под влиянием его носителей.

Есть и другие примеры, которые считаются доказательством культурных традиций у животных, но при ближайшем рассмотрении могут оказаться проявлением распределенного социального обучения. Один из таких примеров — «груминг рука об руку» у шимпанзе. Пара животных сцепляет высоко поднятые руки, а свободными руками перебирает друг другу шерсть. Эта поза характерна лишь для немногих популяций шимпанзе, и она вынесена на обложку книги Мак Грю «Культурные шимпанзе» (2004) как пример культурных традиций. Эту точку зрения поддерживают и исследователи Йерковского приматологического центра, изучающие подобное поведение в группах шимпанзе, содержащихся в неволе [10]. Однако такой поведенческий стереотип проявился по принципу «все и сразу», без обучения и тренировок, у одной из самок и потом распространился лишь среди ограниченного числа сородичей. Это позволяет полагать, что наследственная предрасположенность играет заметную роль в проявлении «груминга рука об руку».

Гипотеза распределенного социального обучения позволяет объяснить распространение новых навыков, без привлечения «культуры» и «учительства». Есть основания полагать, что этому обучению свойствен кумулятивный эффект, и частые встречи с исполнителями целостного стереотипа увеличивают скорость распространения новых форм поведения.

\* Резникова Ж.И. // Природа. 2007. №12. С.25—34.

\* \* \*

Множество жизненно важных задач животные могут решить за счет наследственно обусловленного поведения, дополняемого индивидуальным опытом. Однако трудно быть «вооруженным» готовыми врожденными поведенческими стереотипами на все случаи жизни. Социальное обучение позволяет, наблюдая за действиями сородичей, осваивать новые формы поведения. Но путь внедрения новшеств в популяцию лежит через преодоление консерватизма подавляющего большинства ее членов. Представителей разных видов в способности усваивать чужой опыт роднит одно: они плохо учат и плохо учатся. Даже самые «умные» особи наиболее «интеллектуальных» видов, наблюдая за успешными действиями сородичей, как правило, не копируют их, а действуют в том же направлении, но по-своему. Это чаще всего не приносит успеха последователям, и инновации умирают вместе с изобретателем. Однако, пусть и с трудом, но поведенческие традиции, основанные на сигнальной наследственности, распространяются и сохраняются в некоторых популяциях животных. Пока практически ничего не известно о том, насколько благоприобретенные инновации способствуют процветанию и росту численности популяций. Во многом остаются неясными и механизмы распространения новых форм поведения. Но если принять во внимание гипотезу распределенного социального обучения, то удастся объяснить, как некоторые новые формы поведения, освоенные одиночками, становятся достоянием популяции и как передаются из поколения в поколение. Для этого достаточно, чтобы в популяции имелись носители видового стереотипа поведения и обладатели отдельных «заготовок», способные к самым простым формам социального обучения. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08-04-00489) и Президиума РАН по программе «Биоразнообразие».**

## Литература

1. Инге-Вечтомов С.Г. // Генетика. 2007. Т.43. №10. С.1287—1298.
2. Whiten A., Flynn E., Brown K., Lee T. // Developmental Science. 2006. V.9. P.575—583.
3. Reznikova Zh. Animal Intelligence. From Individual to Social Cognition. Cambridge, 2007.
4. Whiten A. // Nature. 2005. V.437. P.52—55.
5. Krützen M., Mann J., Heithaus M., et al. // Proc. Natl Acad. Sci (USA). 2005. V.105. P.8939—8943.
6. Schaik C.P. van, Ancrenaz M., Borgen G. et al. // Science. 2003. V.299. P.102—105.
7. Leca J.-B., Gunst N., Huffman M.A. // American Journal of Physical Anthropology. 2007. V.136. №2. P.233—244.
8. Franks N.R., Richardson T. // Nature. 2006. V.439. P.153.
9. Hunt G.R., Gray R.D. // Proceedings of the Royal Society, London, B. 2003. V.270. P.867—874.
10. Bonnie K.E., Waal F.B.M. de // Primates. 2006. V.47. P.27—34.



# Солнечные нейтрино и международный проект «Борексино»

М.Д.Скорохватов

Исследования солнечных нейтрино в значительной степени повлияли как на всю историю развития нейтринной физики, так и на становление современных моделей энергетики Солнца. Эксперименты с солнечными нейтрино дали первые свидетельства наличия у нейтрино массы и смешивания нейтрино разных поколений, что требует расширения Стандартной модели частиц и взаимодействий между ними. Детектирование солнечных нейтрино предоставило прямые подтверждения термоядерного механизма генерации энергии Солнца, а с прецизионными измерениями интенсивности нейтринных потоков в будущих экспериментах связаны сегодня наши надежды на уточнение Стандартной солнечной модели (ССМ).

## Рожденные Солнцем

Нейтрино, наиболее распространенная во Вселенной частица, экспериментально было открыто в середине 50-х годов Ф.Райнесом с сотрудниками в известных опытах у ядерного реактора. Однако наши знания о свойствах нейтрино, суммированные в табл.1, остаются крайне скудными.

Существует по крайней мере три сорта (поколения) нейт-



*Михаил Дмитриевич Скорохватов, доктор физико-математических наук, начальник лаборатории РНЦ «Курчатовский институт», руководитель с российской стороны международного проекта «Борексино» (Borexino). Область научных интересов — ядерная физика и физика частиц, фундаментальные и прикладные исследования в области нейтринной физики.*

**Таблица 1**  
**Свойства нейтрино**

Нейтрино Элементарная частица	
Семейство, группа	фермион, лептон
Взаимодействие	слабое и гравитационное
Античастица	антинейтрино (возможно тождественно нейтрино)
Предсказана	1930 г.
Открыта	1956 г.
Электромагнитные свойства	не обнаружены
Спин	1/2
Число поколений	3
Ограничения на массу:	
электронное нейтрино $\nu_e$	<2.2 эВ
мюонное нейтрино $\nu_\mu$	<170 кэВ
тау-нейтрино $\nu_\tau$	<15.5 МэВ

© Скорохватов М.Д., 2009

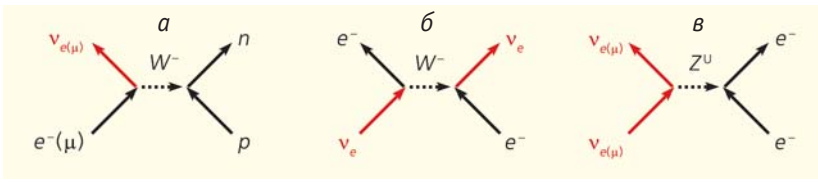


Рис.1. Диаграммы Фейнмана, иллюстрирующие процессы слабого взаимодействия с участием нейтрино: рождения (а) и рассеяния на электроне (б, в). В реакции рождения взаимодействие осуществляется через заряженный  $W$ -бозон (говорят, что оно обусловлено заряженными токами). Процессы рассеяния нейтрино, в частности рассеяние нейтрино на электронах, могут быть обусловлены как заряженными (б), так и нейтральными (в) токами (здесь переносчик взаимодействия — нейтральный  $Z$ -бозон).

рино, или, как принято говорить, три флейворных состояния. Они различаются по зарядному лептону (электрону, мюону или тау), который сопровождает рождение (или поглощение) нейтрино в процессах слабого взаимодействия (см. рис.1). Подобные процессы протекают и в солнечном веществе.

По современным представлениям, энергетика Солнца основана на преобразовании четырех протонов в ядро гелия-4, сопровождающемся освобождением энергии  $4.3 \cdot 10^{-12}$  Дж (или 26.7 МэВ). Оно происходит в результате двух возможных цепочек термоядерных процессов — протон-протонного ( $pp$ ) цикла реакций (рис.2) и углеродно-азотно-кислородного (CNO) цикла реакций. Для звезд с размерами и возрастом нашего Солнца  $pp$ -цикл является определяющим, а вклад CNO-цикла составляет не более нескольких процентов, хотя соотношение вкладов зависит от модели и нуждается в экспериментальном подтверждении. Для протекания таких реакций требуются очень высокие температуры, порядка нескольких миллионов градусов, которые существуют только в центральных областях Солнца размером порядка трети радиуса.

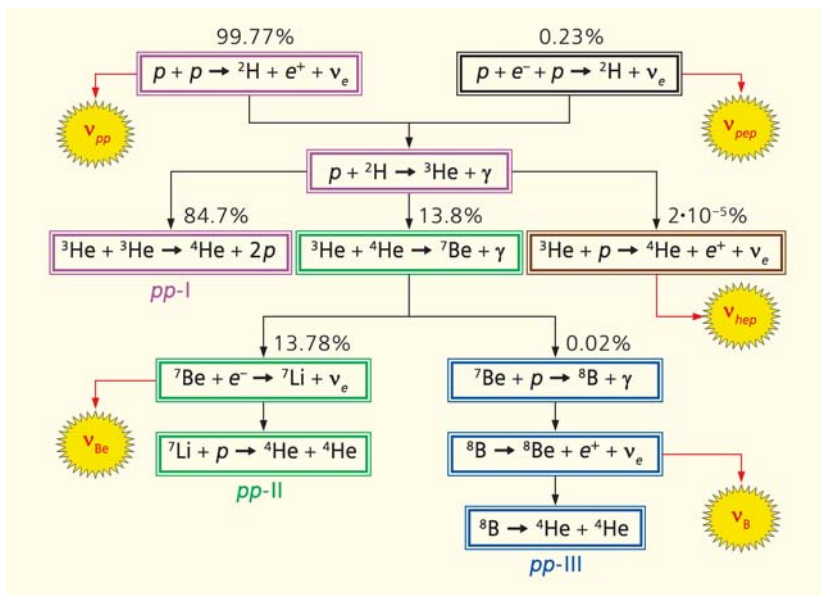


Рис.2. Протон-протонный ( $pp$ ) цикл термоядерных процессов.

Как видно из рисунка, в некоторых реакциях  $pp$ -цикла происходит излучение нейтрино. Важно отметить, что солнечные нейтрино — это нейтрино электронного типа, которые часто называют  $pp$ -нейтрино,  ${}^7\text{Be}$ -нейтрино,  ${}^8\text{B}$ -нейтрино и т.д., — по реакции, в которых они образуются. Энергия солнечных нейтрино (рис.3) лежит в области менее 20 МэВ, причем более 99% всех нейтрино излучается с энергиями меньше 1 МэВ.

В табл.2 приведены некоторые реакции с эмиссией солнечных нейтрино, которые сегодня играют ключевую роль в экспериментальных исследованиях, а также энергии и ожи-

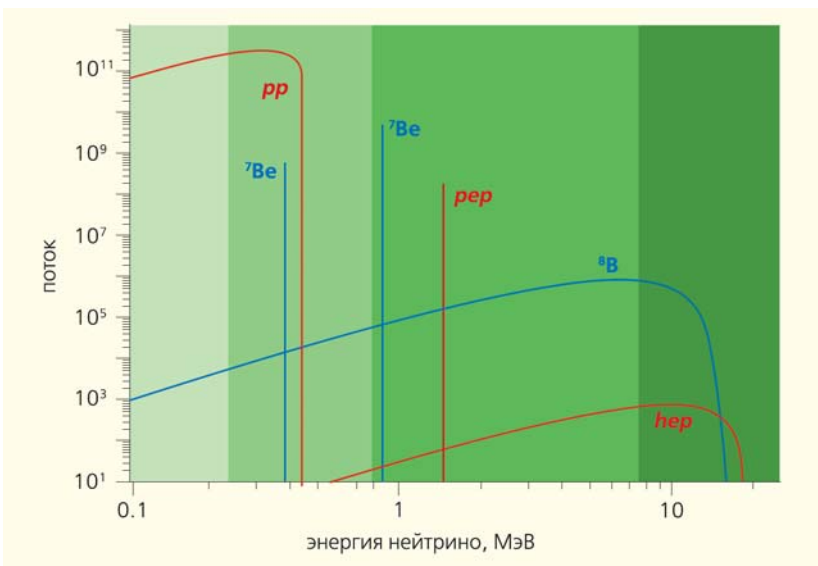


Рис.3. Энергетический спектр солнечных нейтрино в  $pp$ -цикле.

**Таблица 2**  
**Характеристики реакций, порождающих нейтрино**

Тип нейтрино	Термоядерный процесс	Энергия $E$ , МэВ	Поток, нейтрино/см <sup>2</sup> ·с		Разница потоков, %
			ССМ (НМ)	ССМ (LM)	
$pp$ -нейтрино	$p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e$	<0.4	$5.97 \cdot 10^{10}$	$6.04 \cdot 10^{10}$	1.2
${}^7\text{Be}$ -нейтрино	${}^7\text{Be} + e^- \rightarrow {}^7\text{Li} + \nu_e$	0.86 (90%) 0.38 (10%)	$5.07 \cdot 10^9$	$4.55 \cdot 10^9$	10
${}^8\text{B}$ -нейтрино	${}^8\text{B} \rightarrow {}^8\text{Be} + e^+ + \nu_e$	<15	$5.94 \cdot 10^6$	$4.72 \cdot 10^6$	21

даемые потоки нейтрино, рассчитанные в рамках двух вариантов ССМ с разным содержанием тяжелых элементов внутри Солнца (варианты НМ — «High Metallicity» и LM — «Low Metallicity»). Погрешности расчетов потоков в этих моделях лежат в пределах ~1% для  $pp$ -нейтрино, ~5% для  ${}^7\text{Be}$ -нейтрино и ~10% для  ${}^8\text{B}$ -нейтрино.

Спектрометрические прецизионные измерения интенсивности солнечных нейтрино могут дать уникальную информацию о скорости протекания процессов внутри Солнца и, следовательно, помочь в формировании и отборе моделей.

### Парадокс и его разрешение

Первые наблюдения солнечных нейтрино были проведены в США в 1964—1968 гг. Р.Дэвисом с сотрудниками (в 2002 г. за эти работы Дэвис был удостоен Нобелевской премии). В серии радиохимических экспериментов измерялась скорость образования  ${}^{37}\text{Ag}$  под действием нейтринного излучения в большой емкости, содержащей 615 т  $\text{C}_2\text{Cl}_4$  (рис.4):  $\nu_e + {}^{37}\text{Cl} \rightarrow {}^{37}\text{Ag} + e^-$ . Скорость оказалась примерно в три раза меньше ожидаемого значения, рассчитанного на основании предсказанного потока солнечных нейтрино. Порог реакции составляет 0.81 МэВ, и основной вклад в образование ядер аргона давал поток  ${}^8\text{B}$ -нейтрино. Так возник «парадокс солнечных нейтрино», который продержался более 30 лет. За это время новые предложения по разрешению парадокса вы-

двигались чаще, чем поступали новые экспериментальные данные. Здесь мы лишь остановимся на гипотезе о нейтринных осцилляциях, высказанной в конце 60-х годов [1, 2], которой было суждено кардинально повлиять на ход дальнейших исследований.

В 1969 г. вышла работа В.Н.Грибова и Б.М.Понтекорво, в которой развивались более ранние идеи Понтекорво о нейтринных осцилляциях и теории японских физиков о смешивании флейворных состояний нейтрино. Предполагалось, что в случае массивных (т.е. имеющих массу) нейтрино состояния физических нейтрино  $|m_i\rangle$ , являющихся собственными состояниями массовой матрицы, не совпадают с флейворными состояниями нейтрино  $|\nu_\alpha\rangle$ . В простом (но, как оказалось впоследствии, близком к реальности) случае, электронное нейтрино представляется суперпозицией:

$$|\nu_e\rangle = \sin\theta_{12}|m_1\rangle + \cos\theta_{12}|m_2\rangle, \quad (1)$$

где  $\theta_{12}$  — угол смешивания, а  $m_1, m_2$  — массы нейтрино. При распространении состояния нейтрино могут изменяться:  $|\nu_e\rangle \leftrightarrow |\nu_\mu\rangle$ .

На этой основе был предложен механизм дефицита образования ядер  ${}^{37}\text{Ag}$  в эксперименте Дэвиса. Идея состояла в том, что поток электронных нейтрино, рожденных в термоядерных процессах на Солнце и достигших Земли, ослабевает в результате трансформации части электронных нейтрино в нейтрино другого флейворного состояния, например в мюонные нейтрино, которые не могут вызвать образование  ${}^{37}\text{Ag}$  в разрешенной

реакции  ${}^{37}\text{Cl}(\nu_e, \mu^-){}^{37}\text{Ag}$  из-за низкой энергии. Не следует думать, что процесс изменения флейворного состояния нейтрино носит хаотический и случайный характер. Этот процесс имеет квантово-механическую природу, и вероятность того, что при распространении в вакууме электронное нейтрино с энергией  $E$  останется в том же состоянии, дается соотношением:

$$P_{ee} = 1 - \sin^2 2\theta_{12} \times \sin^2 1.27 \Delta m_{12}^2 \frac{L}{E}. \quad (2)$$

Вероятность  $P_{ee}$  — вероятность выживания нейтрино в электронном состоянии на расстоянии  $L$  от источника — зависит от двух параметров: угла смешивания  $\theta_{12}$  и разности квадратов масс физических состояний нейтрино  $\Delta m_{12}^2 = m_1^2 - m_2^2$ . Согласно (2), эффект изменения флейворного состояния возмо-



Рис.4. Первый радиохимический детектор по регистрации солнечных нейтрино, шахта Хоумстейк, Северная Дакота (1964—1968).



жен только для массивных нейтрино, он носит периодический характер и поэтому называется нейтринными осцилляциями.

Учитывая расстояние до Земли ( $1.5 \cdot 10^8$  км) и ограничения на массовый параметр, полученный из имеющихся экспериментальных данных, Понтекорво рассчитал, что периодическая составляющая ( $\sin^2 1.27 \Delta m_{12}^2 L/E$ ) усредняется и дает коэффициент  $1/2$ :

$$P_{ee} = 1 - \frac{1}{2} \sin^2 2\theta_{12}.$$

Но так как эксперимент Дэвиса указывал на сильное подавление пучка электронных нейтрино, Понтекорво предположил, что угол смешивания велик и «поток наблюдаемых солнечных нейтрино должен быть в два раза меньше полного потока солнечных нейтрино» [3].

Гипотеза Грибова и Понтекорво первоначально не была встречена с большим восторгом: во-первых, в рамках Стандартной модели частиц нейтрино оставались безмассовыми и не было предложений, как сделать эту массу не нулевой, но очень маленькой — на много порядков меньше массы заряженных лептонов; во-вторых, смешивание в кварковом секторе было небольшим, поэтому и в лептонном секторе более естественным казалось небольшое смешивание, а объяснение парадокса солнечных нейтрино с помощью гипотезы об осцилляциях требовало максимального смешивания.

Несмотря на отсутствие энтузиазма у теоретиков, экспериментаторов охватил бум поиска нейтринных осцилляций. Поисковые эксперименты начались на ядерных реакторах, ускорителях, в космических лучах. Но только через 30 лет убедительные доказательства, получившие широкое признание, были получены. Проблема нейтринных осцилляций оказалась более глубокой и сложной, чем предполагалась ранее. Экспериментальные исследования продолжаются и сегодня, так же как

и дискуссии о теоретических аспектах этого явления.

Интересно отметить, что угол смешивания  $\theta_{12}$  оказался действительно большим, но этого было недостаточно для подавления в три раза потока  $^8\text{B}$ -нейтрино, чтобы объяснить наблюдаемую скорость образования  $^{37}\text{Ag}$  в эксперименте Дэвиса. Однако выход был найден. В 80-х годах идеи осцилляций нейтрино были развиты в работах Л.Валфенштейна, С.П.Михеева и А.Ю.Смирнова, которые разработали теорию распространения нейтрино в среде, в которой присутствуют слабо взаимодействующие с ним электроны [4]. Михеев и Смирнов показали, что при прохождении слоев солнечного вещества с изменяющейся плотностью (от  $\sim 150$  г/см<sup>3</sup> до 0) переходы электронного нейтрино в другие флейворные состояния могут усиливаться. Особенный интерес теории придавало то обстоятельство, что механизм мог работать и при больших, и при малых углах смешивания. Эти сценарии в литературе получили короткие обозначения MSW-LMA и MSW-SMA (Mikheev-Smirnov-Wolfenstein Large(Small)-Mixing-Angle).

В модели MSW-LMA описание распространения нейтрино зависело от их энергии: для энергий нейтрино менее 1–2 МэВ преобладают вакуумные осцилляции, и вероятность выживания приближенно описывается формулой Понтекорво (3), а для более высокоэнергетичных  $^8\text{B}$ -нейтрино начинает работать механизм усиления переходов, и вероятность выживания определялась в теории как

$$P_{ee} = \sin^2 \theta_{12}. \quad (4)$$

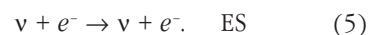
Переходная область энергий, согласно предсказаниям, лежала при значениях  $E = 1 \div 2$  МэВ.

### Вслед за Дэвисом

Предыдущие экспериментальные исследования солнечных нейтрино можно разделить,

конечно, очень условно, на два периода — на первом этапе (60–90-е годы) развивались радиохимические (накопительные) методы регистрации, затем (середина 80-х — 2000-е годы) — черенковские детекторы большого объема. Среди первых, наряду с экспериментом Дэвиса, большое значение имела разработка и реализация проектов SAGE и GALLEX/GNO, в которых измерялась скорость образования  $^{71}\text{Ge}$  в реакции  $^{71}\text{Ga}(\nu_e, e^-)^{71}\text{Ge}$  под действием солнечных нейтрино. Порог реакции составляет 0.23 МэВ, и, следовательно, эксперименты были чувствительны к  $pp$ -нейтрино и  $^7\text{Be}$ -нейтрино. Недостаток радиохимического метода — отсутствие спектральной информации, что не позволяет выделить интенсивность потоков нейтрино от отдельных термоядерных процессов.

Водные черенковские детекторы работают в реальном времени, т.е. позволяют осуществлять прямую регистрацию каждого события взаимодействия нейтрино. В экспериментах Kamiokande и Super-Kamiokande солнечные нейтрино регистрировались в реакциях упругого рассеяния (ES — «elastic scattering») нейтрино на электронах мишени (до 50 тыс. т H<sub>2</sub>O):



Взаимодействие ES (5) идет для электронного нейтрино по каналам заряженных (см. рис.1,б) и нейтральных токов (см. рис.1,в). Однако нейтрино в другом флейворном состоянии могут также рассеиваться на электронах, но только за счет нейтральных токов (например, мюонное нейтрино, см. рис.1,б). Поэтому эффекту осцилляций подвержена только часть выхода реакции (5), обусловленная заряженным током для электронного нейтрино.

Мишенью детектора SNO служили 1000 т тяжелой воды D<sub>2</sub>O, в которой солнечные нейтрино регистрировались по реакции (5) и в процессах взаимодейст-

**Таблица 3**

**Экспериментальные данные, полученные до начала проекта Borexino**

Энергия, МэВ	Процесс регистрации	Точность измерений, %	Данные/ССМ (НМ) (без осцилляций)
>0.23	$^{71}\text{Ga}(\nu_e, e^-)^{71}\text{Ge}$	5	0.53
>0.81	$^{37}\text{Cl}(\nu_e, e^-)^{37}\text{Ar}$	9	0.30
>5÷5.5	$d(\nu_e, e^-)pp$	9	0.29
>5÷7	$\nu_x + e^- \rightarrow \nu_s + e^-$	4	0.40
>2.2	$d(\nu_s, \nu_s)np$	9	0.93

вия заряженных (CCD) и нейтральных (NCD) токов:

$$\nu_e + d \rightarrow e^- + p + p, \text{ CCD (6)}$$

$$\nu + d \rightarrow \nu + n + p. \text{ NCD (7)}$$

Выход реакции (7) не подвержен осцилляциям, поскольку нейтральные токи одинаковы для любых типов нейтрино. Недостаток черенковских детекторов — высокий порог регистрации (5—7 МэВ, 2.2 МэВ для реакции NCD), поэтому информация поступала только о  $^8\text{B}$ -нейтрино.

В табл.3 представлены результаты: точность экспериментальных данных и отношение измеренных величин к ожидаемым значениям в модели без осцилляций. Расчетные потоки нейтрино были взяты из данных ССМ (в варианте НМ). На первый взгляд величины из последнего столбца выглядят противоречиво и разрозненно. Но в рамках теории MSW–LMA было показано, что данные согласуются при следующих параметрах нейтринных осцилляций:

$$\Delta m_{12}^2 \sim 8 \cdot 10^{-5} \text{ эВ}^2, \quad \sin^2 \theta_{12} \sim 0.3. \quad (8)$$

Поясним это на качественном уровне. Согласно предсказаниям MSW–LMA, выход реакции  $^{71}\text{Ga}(\nu_e, e^-)^{71}\text{Ge}$  определяется заряженными токами под действием  $pp$ - и  $^7\text{Be}$ -нейтрино с энергиями менее 1 МэВ. Вероятность выживания электронных нейтрино в этом случае приближенно можно найти из соотношения (2), которое дает подавление потока электронных нейтрино на величину около 45%.

Измерение потоков  $^8\text{B}$ -нейтрино по каналу заряженных токов в реакциях  $^{37}\text{Cl}(\nu_e, e^-)^{37}\text{Ar}$ ,

$d(\nu_e, e^-)pp$  с энергиями до 15 МэВ приводит, согласно (4), к уменьшению потока электронных нейтрино до 70%.

Для реакции рассеяния на электронах, в которой при энергиях >5 МэВ участвовали только  $^8\text{B}$ -нейтрино, скорость счета событий определял как поток электронных нейтрино  $\Phi(\nu_e) = P_{ee}\Phi(^8\text{B}\text{-нейтрино})$ , взаимодействующих по каналам заряженных и нейтральных токов, так и нейтрино других флейворов  $\Phi(\nu_{\mu,\tau}) = (1 - P_{ee})\Phi(^8\text{B}\text{-нейтрино})$ , но взаимодействующих только по каналу нейтральных токов. Вероятность выживания нейтрино  $P_{ee}$ , как и в предыдущем случае, дается соотношением (4). Однако сечение взаимодействия по нейтральному каналу в шесть раз меньше, чем по заряженному, поэтому осцилляции нейтрино приводят к уменьшению скорости счета приблизительно на 60%.

Выход реакции развала дейтрона  $d(\nu_x, \nu_x)np$  по нейтральному каналу, как отмечалось ранее, не зависит от эффекта осцилляций.

В последние годы параметры (8) были подтверждены в эксперименте KamLand, в котором наблюдались вакуумные осцилляции потока электронных антинейтрино от ядерных реакторов в Японии. И тем не менее исследования солнечных нейтрино далеки от завершения. Как видно из табл.3, точность экспериментов невысока. Дальнейшие прецизионные эксперименты должны, с одной стороны, дать более детальную информацию о потоках солнечных нейтрино для уточнения

Стандартной солнечной модели, а с другой — позволят исследовать механизм нейтринных осцилляций и, в частности, осцилляций нейтрино в веществе.

### Эра больших сцинтилляторов

Сейчас начался новый этап исследований, основанный на сцинтилляционном методе регистрации. В мае 2007 г. был введен в строй детектор солнечных нейтрино, созданный в рамках реализации международного проекта Borexino [5]. Готовятся к запуску другие установки такого рода, которые, по видимому, и будут определять экспериментальную ситуацию в области физики солнечных нейтрино в ближайшие 10 лет. Преимущества сцинтилляционного метода заложены в возможности вести спектрометрию солнечных нейтрино в широком диапазоне энергий в реальном времени. В частности, ближайшие эксперименты нацелены на прямое детектирование солнечных нейтрино в области энергий менее 5 МэВ, недоступной черенковским детекторам, где сосредоточено более 99% частиц и поэтому можно набрать большую статистику.

Первый (и, насколько нам известно, единственный) сцинтилляционный детектор был сделан Райнесом с сотрудниками еще в 1964 г. Солнечные нейтрино в нем должны были регистрироваться по реакции рассеяния на электронах [6]. Детектор содержал 200 л жидкого сцинтиллятора и был установ-

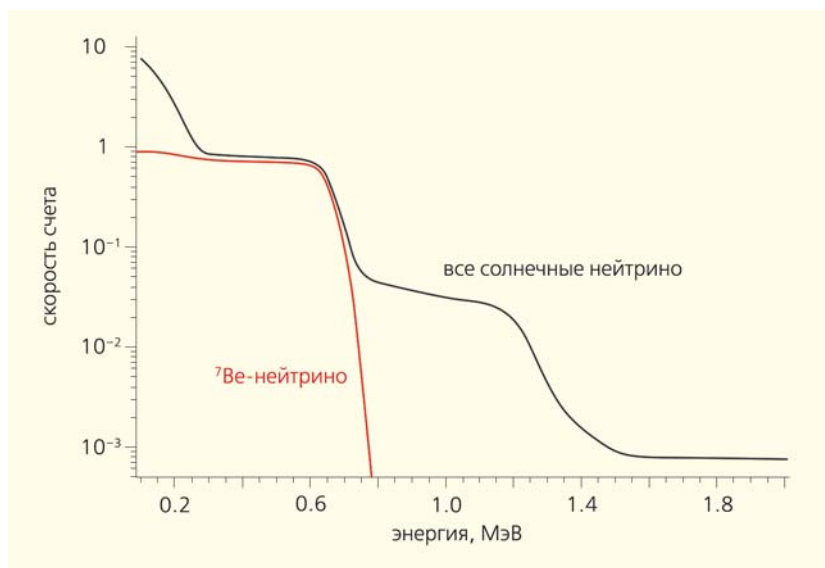


Рис.5. Энергетический спектр электронов отдачи при рассеянии солнечных нейтрино (скорость счета в интервале 10 кэВ/сут на 100 т сцинтиллятора).

лен в соляной шахте на глубине ~600 м. Обнаружить нейтрино так и не удалось, зато очень быстро стали очевидны трудности эксперимента:

- сечение взаимодействия нейтрино с электроном слишком мало ( $\sim 10^{-44}$  см<sup>2</sup>);

- энергия электрона отдачи лежит в области с высоким уровнем фона, связанного с космическим излучением и естественной радиоактивностью материалов.

Сам принцип регистрации заключается в следующем. Нейтрино, рассеиваясь на электронах мишени, могут передавать им в реакции (5) значительную долю энергии. Двигаясь в жидкости, электроны отдачи теряют эту энергию на ионизацию, что приводит к возбуждению молекулярных уровней основного материала сцинтиллятора — прозрачной флуоресцирующей органической жидкости, в которой возбуждение снимается путем испускания ультрафиолетовых квантов. В жидкость добавляется небольшая примесь другого флуоресцирующего материала, который «перехватывает» УФ-кванты (длина их поглощения очень мала) и испускает кванты видимого света. Послед-

ние распространяются в жидкости без поглощения и достигают установленных по краям мишени регистрирующих счетчиков — фотоэлектронных умножителей (ФЭУ), спектральная чувствительность которых подобрана по длине волны излучаемого света. Общее число образовавшихся квантов пропорционально энергии электрона и составляет около 10 тыс. при потере электроном 1 МэВ энергии в жидком сцинтилляторе.

Кинетическая энергия рассеянного в реакции (5) электрона зависит от энергии налетающего нейтрино и угла рассеяния. Для моноэнергетических нейтрино, например солнечных <sup>7</sup>Ве-нейтрино с энергией 0.86 МэВ, энергетический спектр рассеянных электронов имеет вид пологого склона с резко обрывающимся «комптоновским» краем при максимальной кинетической энергии электрона  $T_{\max} = E/(1 + m/2E) = 0.66$  МэВ, где  $m$  — масса электрона. Известный профиль спектра отдачи от порога регистрации до «комптоновского» края, зависящего от энергии нейтрино  $E$ , используется для восстановления энергетического спектра падающих нейтрино.

На рис.5 представлен расчетный энергетический спектр электронов отдачи при взаимодействии с солнечными нейтрино, который был смоделирован для реального сцинтилляционного детектора, обладающего энергетическим разрешением ~5% при  $E = 1$  МэВ. Ожидаемая скорость счета <sup>7</sup>Ве-нейтрино, рассчитанная в модели MSW–LMA для мишени 100 т жидкого сцинтиллятора с порога регистрации ~250 кэВ, составляет около 50 событий/день. Это соответствует счету  $\sim 5 \cdot 10^{-9}$  Бк/кг. Для сравнения, естественная радиоактивная загрязненность воды — 10 Бк/кг. Концентрация природных радиоактивных примесей (<sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K, а также радиоактивных газов — Kr, Ar, Rn) в материалах недопустимо высока. Даже отбор конструкционных материалов не обеспечивает приемлемый уровень фона детектора, и требуется изощренная техника очистки для снижения содержания примесей. Так, испытания образцов жидкого сцинтиллятора в условиях низкофонных подземных лабораторий (Баксан, 1976 г.) давали скорость счета на уровне  $10^{-1} \div 10^{-2}$  Бк/кг, т.е. для успешной спектрометрии солнечных нейтрино требовалось уменьшение фоновой активности по крайней мере на семь порядков.

За решение этой задачи физики взялись в середине 90-х годов, образовав международное сообщество (коллаборацию Bogexino) [7]. Цели амбициозного проекта включали актуальные задачи физики частиц, физики Солнца, Земли, астрофизики и др. Были собраны большие силы — более 100 специалистов из крупнейших научных центров Венгрии, Германии, Италии, Польши, России, США, Франции. Национальный институт ядерной физики Италии для создания крупномасштабного детектора предоставил большую площадь в подземной лаборатории Гран Сассо, обладающей внушительной инфраструктурой. От России в проект вошли фи-

зики из РНЦ «Курчатовский институт», ОИЯИ и, в последние годы, специалисты из Санкт-Петербургского института ядерной физики и НИИ ядерной физики МГУ.

Для успешной реализации проекта нужно было решить несколько основных задач. Прежде всего, разработать новые технологии очистки материалов от радиоактивных примесей, в несколько миллионов раз более эффективные, чем применяющиеся в индустрии полупроводников. Были сомнения, можно ли в принципе получить жидкий сцинтиллятор с уровнем активности  $10^{-9}$  Бк/кг (уровень загрязненности  $10^{-16}$  г/г по урану и торью). Исследования показали, что в неполярных жидкостях, которые служат основой (растворителем) для жидкого сцинтиллятора, растворимость тяжелых металлов на несколько порядков меньше, чем предполагалось ранее. Очистить жидкий сцинтиллятор оказалось проще, чем полярную жидкость — воду, ультратонкая очистка которой имела принципиальные ограничения. В частности, последнее обстоятельство затрудняет использование водных черенковских детекторов, в которых порог регистрации в упомянутых выше экспериментах не удавалось опустить ниже 5–7 МэВ из-за фонового излучения.

Далее, нужно решить технические проблемы создания

крупномасштабного детектирующего комплекса объемом более 4000 м<sup>3</sup>, вспомогательных детектирующих устройств и высокопроизводительных заводов по производству ультрачистых жидкостей в условиях подземной лаборатории.

Однако подавить все источники фона, основываясь только на очистке жидкостей и масштабе детектора, по-видимому, невозможно, даже размещая этот детектор глубоко под землей. Определенные надежды возлагались на современные информационные технологии для моделирования и реконструкции событий взаимодействия нейтрино, способствующих выделению полезного сигнала среди фоновых процессов. Это дорогостоящая составляющая проекта, которая связана с разработкой программ, средств сбора, хранения и передачи больших объемов информации, анализа данных на базе компьютерных станций и распределенных систем вычислений.

### От макета к установке

Идея Vorexino состояла в том, чтобы поместить большое количество жидкого сцинтиллятора в прозрачную нейлоновую сферу, которая подвешена внутри несцинтиллирующей (буферной) жидкости. По краю буферной жидкости предполагалось установить ФЭУ. Буферная жид-

кость защищает внутреннюю мишень-сцинтиллятор от внешнего излучения конструкционных материалов детектора, стен лаборатории и от загрязненности самих ФЭУ. Жидкий сцинтиллятор и буферную жидкость было предложено изготовить на основе растворителя — очищенного псевдокумола (1,2,3-триметилбензола) — ароматического углеводородного соединения с химической структурой  $C_6H_3(CH_3)_3$ .

Разработка проекта началась с создания прототипа детектора — низкофоновой установки STF (Counting Test Facility) с массой жидкого сцинтиллятора около 4 т в нейлоновой сфере, окруженной 1000 л очищенной воды (рис.6). Все стадии производства и очистки жидкого сцинтиллятора испытывались на опытных образцах, которые проходили контроль с использованием детектора STF. Псевдокумол добывался с большой глубины, где концентрация радиоактивных (космогенных) изотопов, образованных космическим излучением за длительные времена, была значительно ниже, быстро транспортировался в подземную лабораторию Гран Сассо и проходил очистку вместе со сцинтилляционными добавками методами фильтрации, дистилляции, водной экстракции, продувки специально очищенным азотом. Одновременно разрабатывались технические детали проекта.

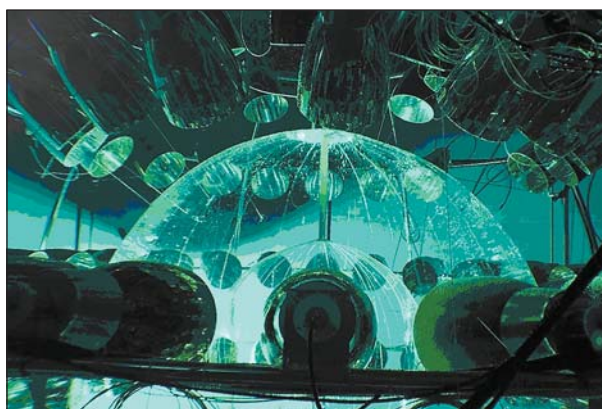
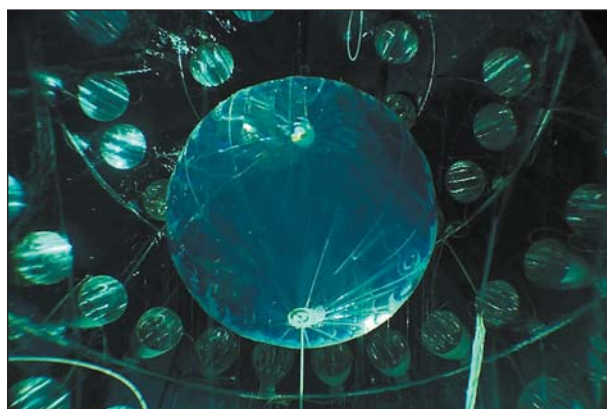


Рис.6. Детектор STF — прототип детектора Vorexino.

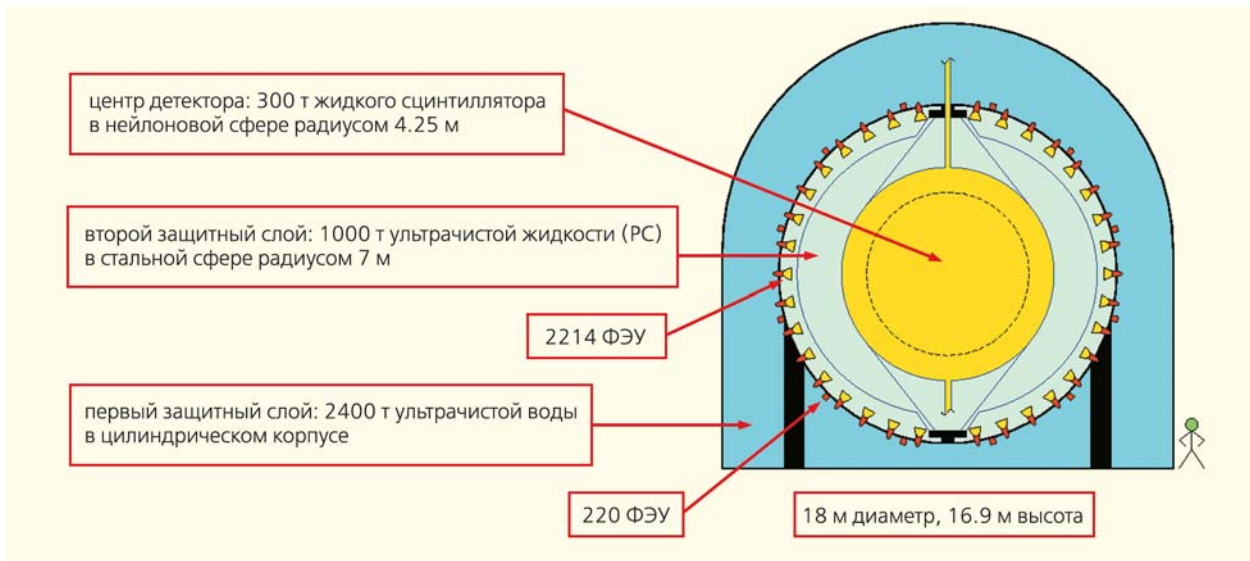


Рис.7. Схема детектора Borexino.

Полномасштабный детектор Borexino представляет собой стальной цилиндр, в верхней части имеющий сферическую форму диаметром 18 м; внутри он состоит из нескольких слоев и реализует принцип многослойной защиты для последовательного улучшения радиационной чистоты от внешних зон (рис.7). Внешний слой заполнен 2400 т сверхчистой воды, защищающей детектор от природной радиоактивности горных пород и материалов внешних конструкций. Этот же слой способен

регистрировать редкие космические мюоны, не поглотившиеся в 1000-метровой толще скал, окружающих подземную лабораторию (рис.8). Следующий слой — стальная сфера, заполненная 1000 т сверхчистого псевдокумола, используемого для защиты центральной части детектора. На внутренней поверхности стальной сферы установлены 2214 ФЭУ, а в центре детектора находится прозрачный нейлоновый шар радиусом 4.25 м, содержащий 300 т сцинтиллирующей жидкости (рис.9).

Удалось ли в итоге выполнить ключевое требование экс-

перимента — обеспечить экстремально низкую фоновую скорость счета, на уровне или ниже скорости взаимодействия 0.5 событий/(тонна·день), ожидаемой для  ${}^7\text{Be}$ -нейтрино? Проведенное моделирование показало, что центральная область детектора, содержащая приблизительно 1/3 часть жидкого сцинтиллятора, обладала максимально возможной защитой от внешних источников излучения (защита от космического излучения подавляет фоновые события на уровне 99.99%), в том числе от примесей, содержащихся в незначительном коли-

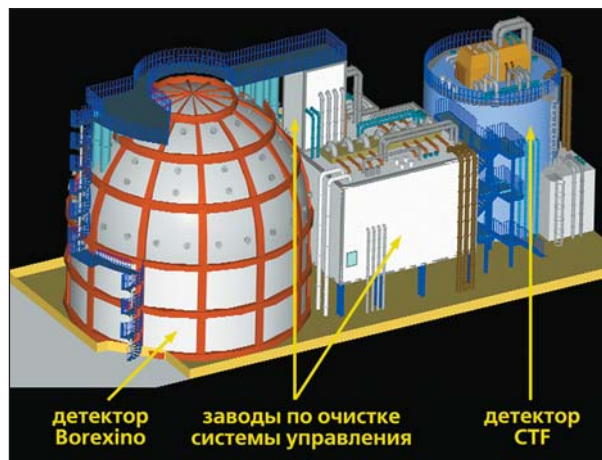


Рис.8. Подземная лаборатория, в которой расположен экспериментальный комплекс Borexino, и схема комплекса.

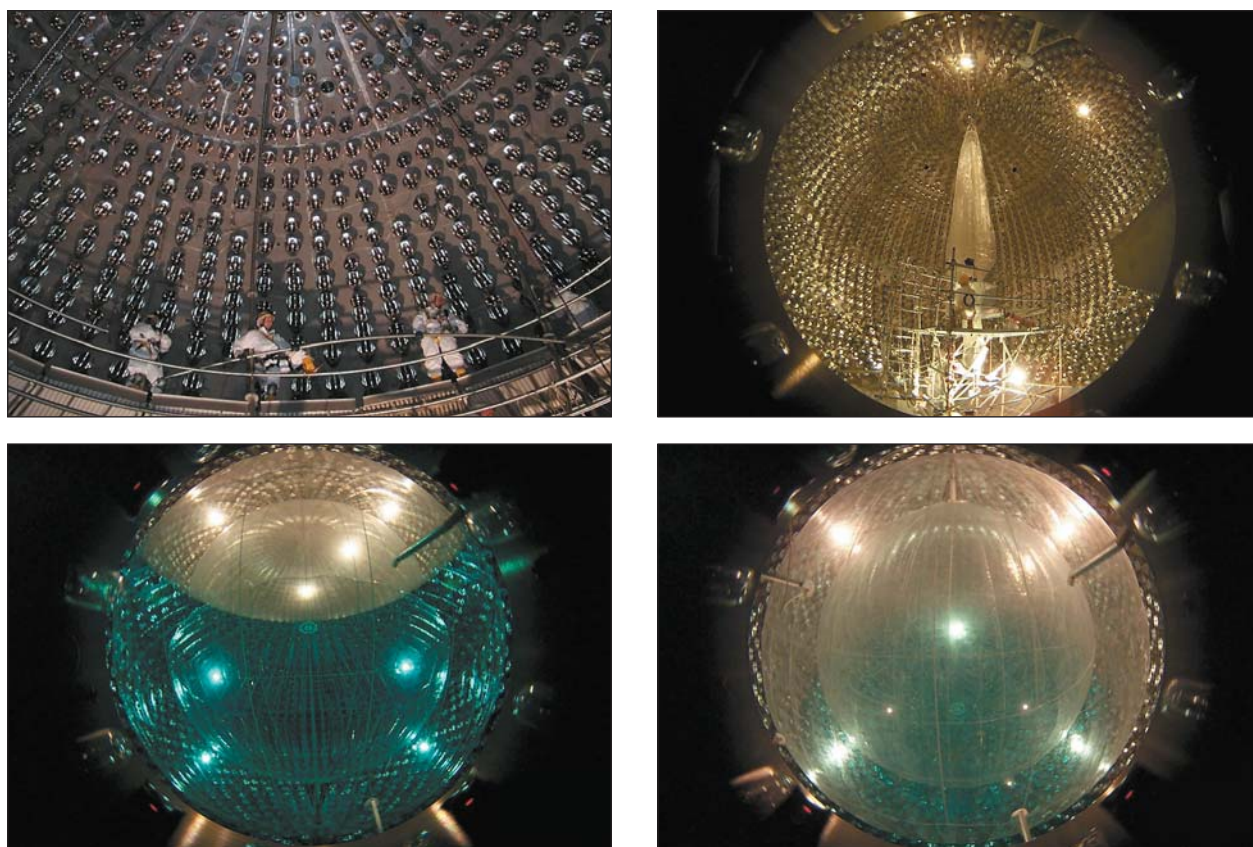


Рис.9. Этапы создания детектора: монтаж ФЭУ (2001—2002), установка прозрачной нейлоновой сферы внутри детектора (2004), заливка детектора жидким сцинтиллятором.

честве в оболочке нейлоновой сферы. Окончательный уровень фона детектора в значительной степени зависит от разработанных методов отбора зарегистрированных сигналов ФЭУ, т.е. выделения событий, которые были вызваны рассеянными электронами при взаимодействии солнечных нейтрино внутри жидкого сцинтиллятора.

Отбор событий — сложная многоступенчатая компьютерная процедура. Сначала отбираются одиночные события, которые могут быть ассоциированы с сигналами от одиночных электронов в реакции. Затем рассматриваются возможные корреляции с сигналами от регистрируемых мюонов космического излучения и продуктов распада радиоактивных примесей. Сигналы ФЭУ анализируются по форме, чтобы выделить электроны на фоне  $\alpha$ -частиц. Наконец, рекон-

струкция событий — алгоритм, основанный на времяпролетных характеристиках регистрации фотонов люминесценции с помощью ФЭУ, — позволяет восстановить пространственные координаты взаимодействия внутри жидкого сцинтиллятора. Последний этап дает возможность анализировать события в центральном объеме мишени радиусом 3 м, содержащем около 100 т сцинтиллятора. В области  $E = 1$  МэВ энергетическое разрешение детектора ( $1\sigma$ ) составляет ~5%, а пространственное разрешение — около 5 см.

Специальный анализ данных детектора (анализ совпадений  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц в распадах висмута и полония, содержащихся в цепочках распада урана и тория) показал, что была достигнута рекордная чистота жидкого сцинтиллятора по содержанию урана и тория на уровне

$10^{-17}$  г/г, т.е. на  $10^{10}$  порядков лучше, чем содержание этих элементов в обычных материалах. Отметим, что полученный уровень чистоты был на порядок лучше, чем требовалось для успешной реализации проекта.

Ожидаемый энергетический спектр Borexino в области энергий менее 2 МэВ (рис. 10), смоделированный на основе многолетних исследований фона с прототипом детектора STF и предварительных данных по концентрации тяжелых элементов в сцинтилляторе, показывает: электроны от рассеяния  $^7\text{Be}$ -нейтрино полностью доминируют в области энергий 200—800 кэВ. Скорость регистрации нейтрино от других источников в несколько раз меньше (спектр  $^8\text{B}$ -нейтрино на рисунке не показан).

Фоновая скорость счета определяется следующими основными источниками.

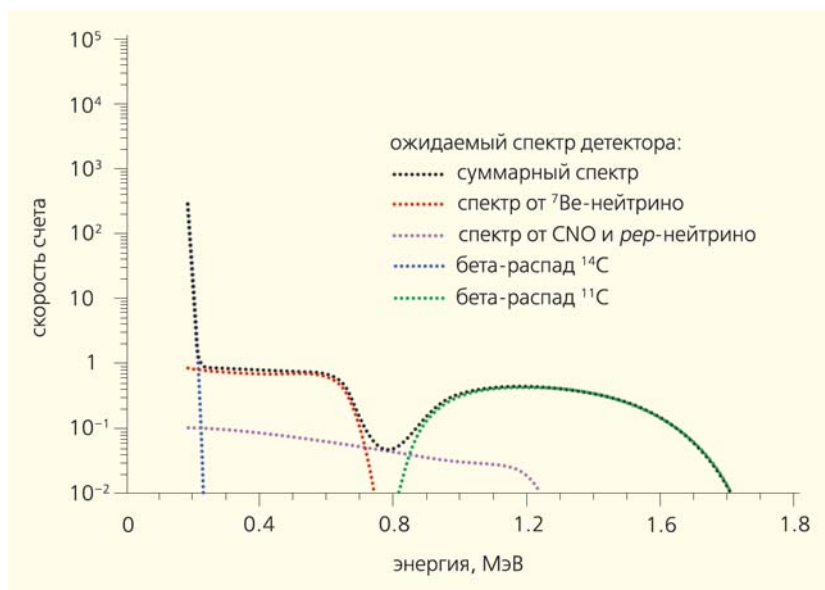


Рис.10. Ожидаемый энергетический спектр детектора (скорость счета в интервале 10 кэВ/сут на 100 т сцинтиллятора).

— Неустранимый фон от электронов  $\beta^-$ -распада  $^{14}\text{C}$ -изотопа, который входит в естественную смесь углерода на уровне  $10^{-18}$  г/г. Природная  $\beta$ -активность этого изотопа ограничивает проведение измерений в области менее 200 кэВ и тем самым затрудняет на настоящем этапе проекта наблюдение солнечных  $pp$ -нейтрино.

— Фон от  $\beta^+$ -распада  $^{11}\text{C}$  с граничной энергией 960 кэВ. Изотоп  $^{11}\text{C}$  образуется под действием космических мюонов в процессе  $\mu + ^{12}\text{C} \rightarrow \mu + ^{11}\text{C} + n$  и затем распадается:  $^{11}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + e^+ + \nu_e$  с временем жизни 30 мин. Регистрация позитронов и аннигиляционных гаммаквантов затрудняет измерение спектра электронов рассеяния от  $pep$ -нейтрино в области более 0.8 МэВ. Однако следует отметить, что разработан специальный метод отбора событий, который будет реализован в дальнейшем для подавления этого источника фона.

—  $\alpha$ -частицы от распада  $^{210}\text{Po}$ , сцинтилляционные сигналы которых отделяются от сигналов  $\beta$ -частиц с помощью техники разделения по форме импульсов.

— При энергии менее 1 МэВ могут присутствовать небольшие вклады в фон от электронов  $\beta$ -распада  $^{85}\text{Kr}$  и  $^{210}\text{Bi}$ , которые вычитаются методом подгонки известных энергетических  $\beta$ -спектров этих изотопов.

— В области более 2 МэВ основной фон детектора связан с  $\beta^-$ - и  $\beta^+$ -распадами космогенных изотопов, обладающих временем жизни от долей секунды до нескольких минут и даже дней, которые образуются в жидком сцинтилляторе под действием космического излучения. Для подавления фона в этой области и выделения событий взаимодействия  $^8\text{B}$ -нейтрино используется корреляционный анализ с мюонными событиями детектора.

### Первые результаты

Порог регистрации был установлен ниже 100 кэВ, и, таким образом, впервые детектирование солнечных нейтрино проводилось в реальном времени в диапазоне менее 2 МэВ. К настоящему времени набрана статистика измерений за время более года [8, 9]. Массивы «сырых»

данных были частично обработаны. Спектр отобранных событий в низкоэнергетической области за 192 дня показан на рис.11,а. Для анализа спектра в области более 2 МэВ, в которой содержатся события от  $^8\text{B}$ -нейтрино, были отобраны измерения в течение 246 дней (рис.11,б).

В результате статистического анализа вкладов от нейтринных событий и фоновых процессов в полученный энергетический спектр была найдена скорость счета детектором нейтрино с энергией 0.86 МэВ:  $49 \pm 3$  событий в день на 100 т жидкого сцинтиллятора, где указана только статистическая погрешность измерений. Таким образом, впервые в результате прямых измерений обнаружен и измерен поток солнечных  $^7\text{Be}$ -нейтрино.

На рис.11,б представлены экспериментальные точки и ожидаемые энергетические спектры электронов отдачи при взаимодействии  $^8\text{B}$ -нейтрино. Расчеты были проведены в модели без осцилляций (пунктирная линия) и в рамках модели MSW—LMA с осцилляциями (непрерывная линия). Видно, что экспериментальные данные находятся в согласии с гипотезой об осцилляциях нейтрино. Скорость счета  $^8\text{B}$ -нейтрино с энергетического порога 2.8 МэВ составила  $0.26 \pm 0.04$  событий в день на 100 т жидкого сцинтиллятора, где также приведена только статистическая погрешность анализа.

Результаты измерений, кроме указанных выше статистических погрешностей, содержат значительную систематическую неопределенность, составляющую около 8.5%. В основном она связана с погрешностями в определении чувствительного объема детектора и энергетической шкалы. Устранить эти неопределенности позволит детальная калибровка детектора с помощью нескольких радиоактивных источников. Такие источники должны быть временно введены внутрь детектора, что

увеличивает риск разгерметизации детектора и попадания в него нежелательных изотопов, например радона. Поэтому в течение полутора лет основное внимание было уделено набору статистики и анализу фона. Детальные калибровки начались лишь в октябре 2008 г. и будут продолжены в 2009 г.

С учетом систематической погрешности были получены значения скорости счета солнечных  ${}^7\text{Be}$ -нейтрино и  ${}^8\text{B}$ -нейтрино детектором Borexino:

$$n({}^7\text{Be}-\nu) = [49 \pm 3 \text{ (статистика)} \pm 4 \text{ (систематика)}] \text{ событий/сут}/100 \text{ т}, \quad (9)$$

$$n({}^8\text{B}-\nu) = [0.26 \pm 0.04 \text{ (статистика)} \pm 0.02 \text{ (систематика)}] \text{ событий/сут}/100 \text{ т}. \quad (10)$$

Анализ экспериментальных данных с использованием потоков нейтрино, предсказанных ССМ НМ, позволяет сделать несколько выводов.

Как и в предыдущих экспериментах, в рамках подхода без нейтринных осцилляций наблюдаемые потоки солнечных нейтрино не согласуются с ожидаемыми потоками, предсказанными ССМ. Прямое детектирование указывает на дефицит солнечных  ${}^7\text{Be}$ -нейтрино с энергией 0.86 МэВ:

$$\frac{\Phi(\text{экспер.})}{\Phi(\text{ССМ})} = 0.65 \pm 0.08. \quad (11)$$

Результат одновременного измерения потока  ${}^8\text{B}$ -нейтрино с порога 2.8 МэВ находится в согласии с результатами предыдущих измерений, выполненных с помощью черенковских детекторов, и дает более глубокое подавление потока:

$$\frac{\Phi(\text{экспер.})}{\Phi(\text{ССМ})} = 0.45 \pm 0.09. \quad (12)$$

Подчеркнем, что в настоящем эксперименте измерения потока  ${}^8\text{B}$ -нейтрино проводились с наиболее низкого порога.

Напротив, в рамках MSW-LMA модели с осцилляциями ожидаемые скорости счета солнечных нейтрино согласуются с экспериментальными значениями. Для значений параметров

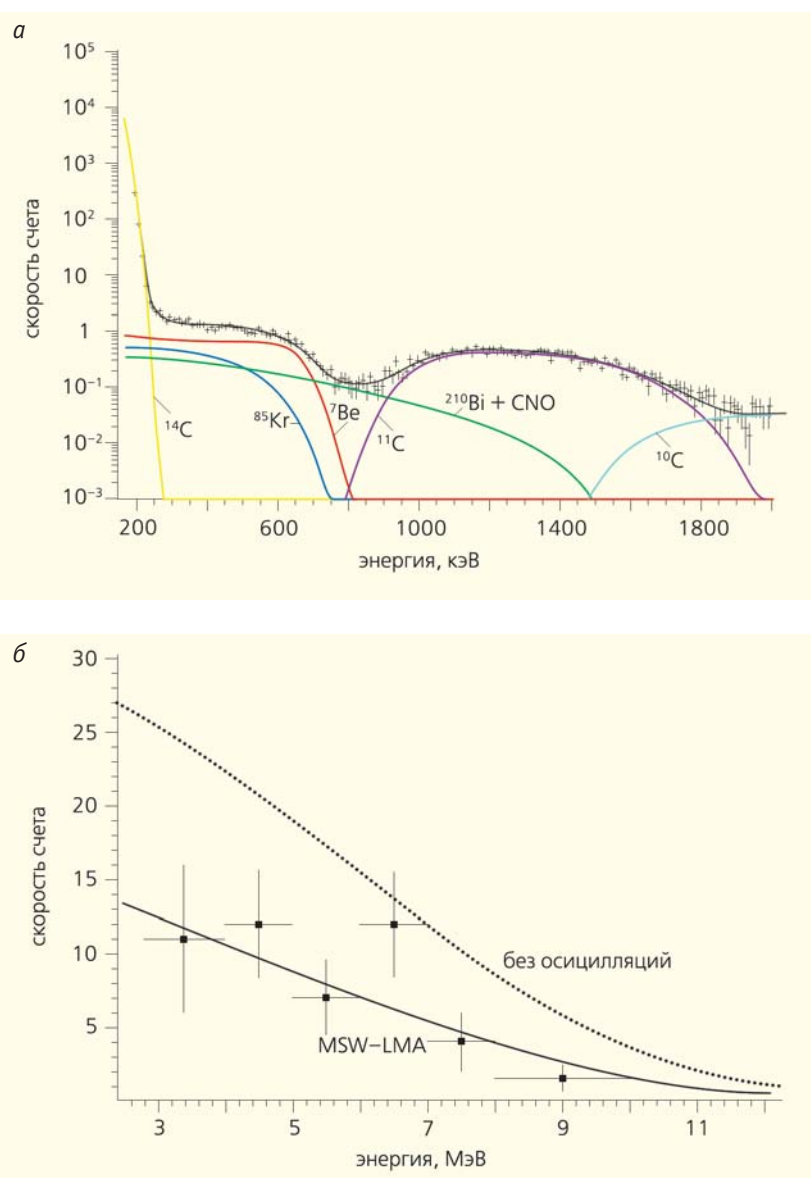


Рис. 11. Спектр событий детектора с энергиями до (а) и более (б) 2 МэВ.

осцилляций (8) скорость счета  ${}^7\text{Be}$ -нейтрино составляет  $48 \pm 4$ , что согласуется с экспериментальным значением (9). Спектральные данные (рис.10) и сравнение потока  ${}^8\text{B}$ -нейтрино с ожидаемым значением также подтверждают MSW-LMA теорию нейтринных осцилляций.

Наконец, полученные результаты позволяют впервые в одном эксперименте подтвердить присутствие MSW-эффекта (усиления нейтринных осцилляций в веществе) при распространении  ${}^8\text{B}$ -нейтрино с энергиями

более 2.8 МэВ. Опираясь на предсказания потоков нейтрино в рамках солнечной модели, можно рассчитать вероятность выживания электронных нейтрино для потоков  ${}^7\text{Be}$ -нейтрино с энергией 0.86 МэВ и  ${}^8\text{B}$ -нейтрино со средней энергией 8.6 МэВ:

$$P_{ee}({}^7\text{Be}-\nu) = 0.56 \pm 0.10 \text{ (0.862 МэВ)}, \quad (13)$$

$$P_{ee}({}^8\text{B}-\nu) = 0.35 \pm 0.10 \text{ (8.6 МэВ)}, \quad (14)$$

которые показывают присутствие эффекта на уровне  $1.8\sigma$ , рис.12.



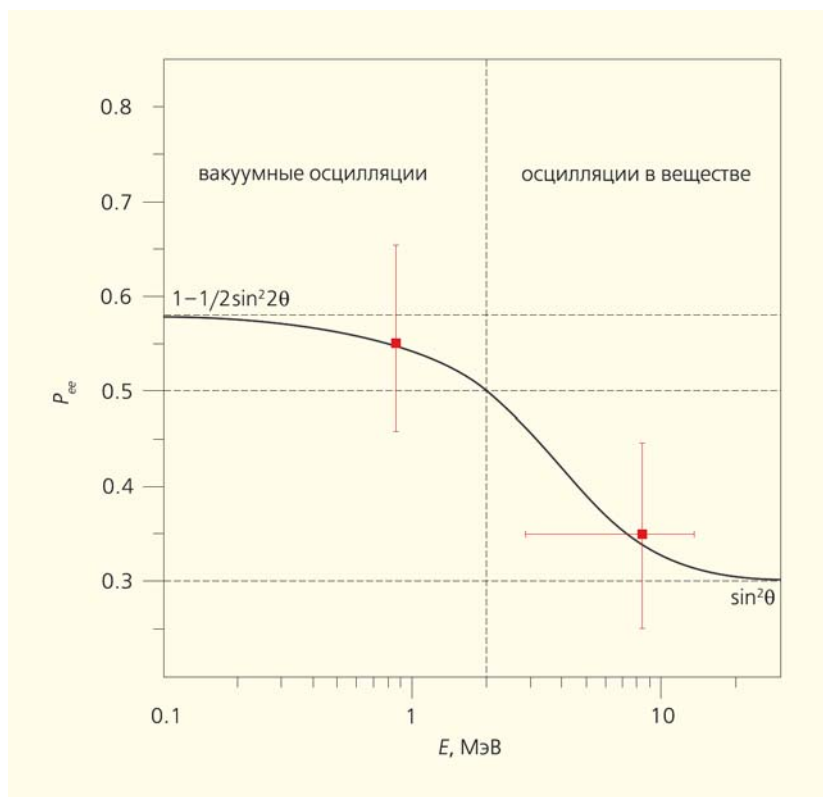


Рис.12. Вероятность выживания солнечных нейтрино в электронном состоянии.

### Литература

1. Беседа с Б.М.Понтекорво // Природа. 1983. №8. С.74–76.
2. Понтекорво Б.М. // УФН. 1983. Т.141. №4. С.675–709.
3. Понтекорво Б.М. // ЖЭТФ. 1967. Т.53. Вып.5. С.1717–1725.
4. Михеев С.П., Смирнов А.Ю. // УФН. 1987. Т.153. №1. С.3–58.
5. РНЦ «Курчатовский институт». «Детектор Борексино регистрирует нейтрино, рожденные в центре Солнца». Заявление для прессы 20 августа 2007 года.
6. Reines F., Kropp W.R. // Phys. Rev. Lett. 1964. V.12. P.457–459.
7. Borexino Collaboration «Science and Technology of Borexino» // Astroparticle Physics. 2002. V.16. P.205–234.
8. Borexino Collaboration «Direct Measurement of the  ${}^7\text{Be}$  Solar Neutrino Flux with 192 Days of Borexino Data» // Phys. Rev. Lett. 2008. V.101. P.091302.
9. Borexino Collaboration «Measurement of the Solar  ${}^8\text{B}$  Neutrino Flux with 246 Live Days of Borexino and Observation of the MSW Vacuum-Matter Transition» // arXiv: hep-ex/0808.2868, 2008.

### Заявка на будущее

Исследования с помощью детектора Borexino открывают и другие возможности для экспериментальной нейтринной физики. Он обладает высокой чувствительностью к геонейтрино (антинейтрино, излучаемым дочерними продуктами распада изотопов урана и тория), которые содержатся в недрах Земли. Научные цели проекта также включают регистрацию антинейтрино от удаленных ядерных реакторов Европы, мониторинг пучка мюонных нейтрино, направляемого в лабораторию Гран Сассо из ЦЕРНа в рамках проекта CNGS (CERN-GranSasso), и даже нейтрино от вспышек сверхновых на расстояниях до 100 кпс от Земли. Комплекс Borexino будет включен в мировую сеть для регистрации нейтринного излучения, сопровождающего вспышки сверхновых. Хочется верить, что с его помощью будет получено еще немало интересных результатов. ■



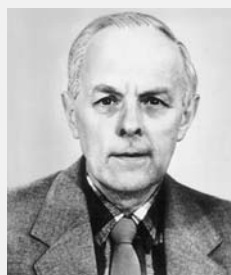
# Климатическая модель: инструмент или игрушка?

И.Л.Кароль, А.А.Киселев

С наступлением компьютерной эпохи наступил и век моделирования. Сегодня моделируют всё: от оптимизации перевозок «из пункта А в пункт В» до сложнейших технологических процессов, полетов в космос и механизмов, формирующих климат нашей планеты. Изучение климата Земли (а ниже речь пойдет именно о нем) — одна из наиболее важных и трудных задач современной науки; более того, такой она и останется в обозримом будущем.

То, что современный глобальный климат теплеет, — общепризнанный свершившийся факт. Это потепление можно сравнить с приездом дальних малознакомых родственников — дискомфорт налицо, а приходится терпеть. Однако такой визит обычно недолог, а глобальное потепление — это всерьез и надолго. И чтобы его грядущие проявления не стали неприятным сюрпризом, важно оперативно установить вызвавшие его причины и оценить тенденции и величины ожидаемых изменений основных характеристик климата: температуры воздуха и осадков на ближайшие десятилетия, а еще лучше до конца века! Как это сделать?

К сожалению, климатологи (в отличие, скажем, от химиков) лишены возможности проводить исследования с помощью лабораторных экспериментов и вынуждены ограничиваться лишь натурными наблюдениями. В та-



**Игорь Леонидович Кароль**, доктор физико-математических наук, профессор Санкт-Петербургского университета, заведующий лабораторией Главной геофизической обсерватории им.А.И.Воейкова (Санкт-Петербург). Область научных интересов — физика и химия атмосферы, теория климата. Постоянный автор «Природы».



**Андрей Александрович Киселев**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела динамической метеорологии той же обсерватории. Занимается моделированием фотохимических и радиационных процессов в атмосфере, а также климата. Постоянный автор «Природы».

кой ситуации появление климатических моделей оказывается весьма кстати: ведь «включая» и «выключая» в них отдельные климатоформирующие факторы (излучение Солнца, характер поверхности Земли, растительность, снег и лед и др.), можно определить их значимость в климатической системе Земли. Этот естественный и перспективный путь был взят на вооружение, и математическое моделирование ныне — основное (но, конечно, не единственное) направление, используемое в решении задач теории климата. Опираясь на полученные модельные оцен-

ки, большинство исследователей связывает глобальное потепление с хозяйственно-экономической деятельностью человечества (антропогенный фактор), в то время как их оппоненты склонны объяснять его только различными естественными причинами. В число последних нередко входят климатологи-практики, занятые непосредственно мониторингом, обработкой и анализом данных наблюдений. Для них результаты измерений — единственно объективное отражение действительности, а построение моделей — забава «не знающих жизни» теоретиков.

Так что же такое климатическая модель: надежный инструмент в руках исследователя или игрушка, имеющая ценность лишь для ее обладателя?

### Что такое климатическая модель?

Формирование климата Земли происходит в результате сложного взаимодействия атмосферы, гидросферы (океаны, моря, озера и реки), литосферы (суша), криосферы (снег, морской и горный лед) и биосферы, объединяющей все виды живого (рис. 1). Солнечная энергия, достигая атмосферы и поверхности Земли, преобразуется в механическую энергию движущихся масс, а также в тепловую, химическую и другие формы энергии. Перечисленные природные среды обмениваются массой и энергией. Одновременно Земля как «серое» тело отдает в космос инфракрасное (длинноволновое) излучение. Безусловно, учесть сколь-нибудь точно все процессы, происходящие в климатической системе (и даже перечислить их!), невозможно. Однако,

к счастью, только немногие из них (и их список более или менее известен) решающим образом сказываются на глобальном климате нашей планеты.

Существуют две разновидности климатических моделей — аналоговые (статистические) и детерминистские (физико-химико-био-математические).

Аналоговые модели используют архивы данных измерений климатических элементов (температура воздуха, воды и почвы, скорость и направление ветра, интенсивность осадков, тип и балл облачности и др.) в данной области в течение продолжительного времени. Это «черный ящик», в котором устанавливаются статистические связи между «входящими» изменениями климатоформирующих факторов (обычно в большом регионе) и «выходящими» климатическими элементами в какой-то его части или в отдельной точке — на метеостанции. По сути своей аналоговые модели — диагностические, т.е. численно отражают существующее и зафиксированное измерением положение дел, но они мало пригодны для прогнозирования и «ра-

ботают» только при сохранении связей в климатической системе региона в рассматриваемый период времени.

В основе детерминистских моделей лежат хорошо известные из школьного курса физики законы — закон сохранения массы, второй закон Ньютона, первое начало термодинамики и др., которые записываются в виде системы дифференциальных уравнений, связывающих основные переменные модели. Модель состоит из системы блоков, описывающих отдельные факторы и процессы, формирующие климат (рис.2). Такую систему дифференциальных уравнений в частных производных невозможно решить аналитически, т.е. написав ответ в виде формулы. Широко применяемый в вычислительной математике прием замены производных их конечно-разностными аналогами позволяет, правда, ценой некоторой потери точности, перейти от дифференциальных к обыкновенным алгебраическим уравнениям. Решив систему алгебраических уравнений (а это под силу только очень мощной ЭВМ), мы найдем значения модельных неизвестных в узлах выбранной сетки, соответствующих вышеупомянутым конечно-разностным аналогам. Выбор сетки — набора узлов, в которых нужно определить значения неизвестных (климатических элементов), — всегда компромисс между желанием сократить расстояние между узлами (тем самым улучшив точность расчетов, но значительно увеличив объем вычислений) и возможностями ЭВМ. Не вдаваясь в подробности, заметим, что в современных глобальных климатических моделях расстояния между узлами составляют 200—300 км по горизонтали и около 1 км по вертикали в атмосфере и 50—200 км и 200—400 м соответственно в океане.

Усовершенствование детерминистских моделей происходит традиционно — от простого к сложному. Напомним, что первые гидродинамические модели

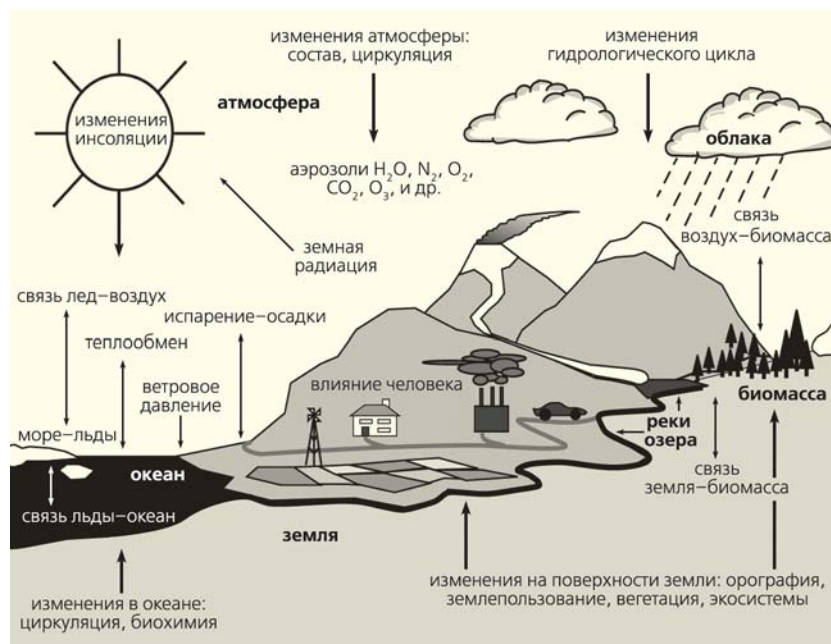


Рис.1. Схематическое изображение составляющих климатической системы Земли и их связей [4].

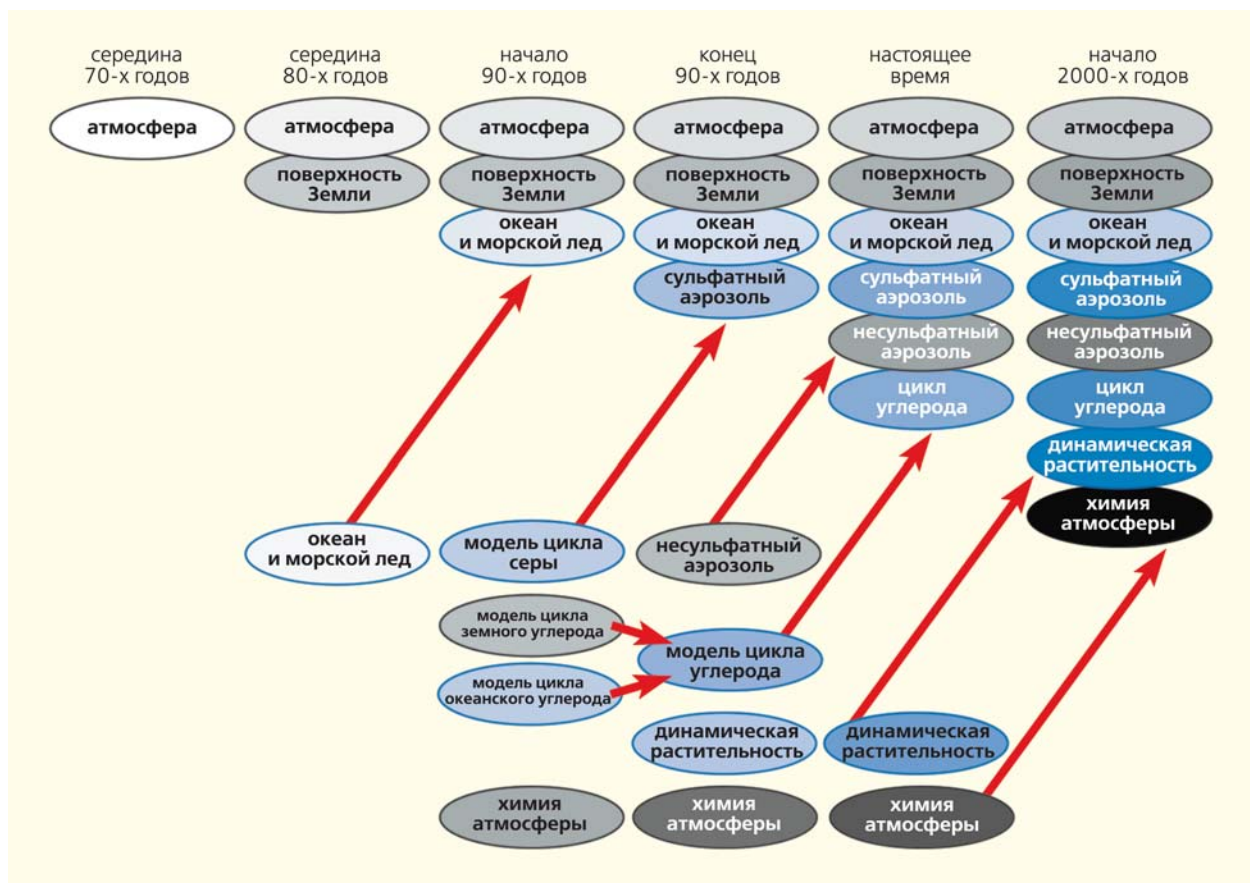


Рис.2. Развитие климатических моделей за последние 30 лет с демонстрацией того, каким образом различные блоки изначально развивались отдельно, а затем включались во всеобъемлющие модели климата [5].

были сформулированы в СССР в 1930-е годы Н.Е.Кочинным и в 1940-е годы И.А.Кибелем, но для полноценной их реализации в ту пору не хватало вычислительных ресурсов. Об эволюции детерминистских моделей в последней четверти XX в. можно судить, обратившись к рис.2. Начав с рассмотрения одной лишь атмосферы, к концу XX в. модели включали в себя особенности земного рельефа, учет углеродного цикла и различных видов аэрозолей, океана и морского льда. Сегодня и блоки атмосферной химии, «анонсированные» на рис.2, включены во многие климатические модели. При этом развитие моделей происходит не только вширь (за счет увеличения количества блоков), но и вглубь (совершенствуется качество ранее включенных бло-

ков). Таким образом, современные модели уже в состоянии учесть многие сложнейшие процессы и явления, происходящие в климатической системе Земли. Нелишне добавить также, что прогрессу моделей в значительной степени способствует регулярно проводимое сравнение модельных результатов в рамках международных программ (подробнее о климатических моделях можно прочитать в нашей книге, вышедшей в 2008 г. [1]).

### Почему не доверяют моделям?

Возникает закономерный вопрос: если модели уже хороши и с каждым годом становятся все лучше, откуда же берется недоверие к ним? К обсуждению реальных возможностей совре-

менных моделей мы еще вернемся, а пока обратимся к причинам, порождающим скептическое отношение к ним.

Пожалуй, самая банальная причина заключается в неудачных прогнозах погоды, свидетелем которых многократно был каждый из нас. Конечно, понятия «погода» и «климат» отнюдь не синонимы, а точных прогнозов синоптиков куда больше, чем ошибочных, но именно последние порождают массу неудобств и, как следствие, отрицательные эмоции. А затем начинается действовать простая логика: «Если «они» не могут предсказать погоду на завтра, то что уж говорить о сроках, исчисляемых годами и десятилетиями». И далее, перефразируя цитату грибоедовской героини, следует приговор: «Все врут... прогнозисты и их модели».

Другим поводом к недоверию служат публичные ошибки. Например, «благодаря» одной из таких ошибок коллапс климата Британии пришелся бы на 2013 г. А дело было так. В начавшемся в феврале 2006 г. финансируемом Би-Би-Си проекте, предназначенном для модельного прогнозирования изменений климата Британии за период с 1920 по 2080 г., принимало участие около 200 тыс. пользователей персональных компьютеров. Участники получали специальную программу расчета климатических изменений и запускали ее. Полученные результаты предназначались использовать в телевизионной программе «Климатический хаос». Согласно результатам компьютерного моделирования, потепление климата Британии шло беспрецедентно высокими темпами, а к 2013 г. работа программы прервалась. Как выяснилось позже, ее авторы случайно не заложили данные о содержании сульфатного аэрозоля, снижающего долю солнечного излучения, достигающего поверхности Земли, для первых 67 лет рассматриваемого периода. В результате этой ошибки чрезвычайно сложной модели, разработанной в Центре прогнозирования и исследования климата в Экстере, не хватило входных данных, которые «закончились» именно к 2013 г. Безусловно, от ошибок не застрахован никто, но если они растражированы, возникает сомнение в способности создателя модели уверенно управлять своим детищем.

Также не благоприятствует доверию неспособность существующих моделей отражать реально происходящие в климатической системе процессы. Известно, например, что все попытки модельно воспроизвести антарктическую «озонную дыру» сразу после ее открытия в середине 1980-х годов завершились неудачей. Экспресс-анализ показал, что та неудача была обусловлена неучетом в моделях ге-

терогенных химических реакций, играющих определяющую роль в балансе стратосферного полярного озона в весенние месяцы. Поговорка гласит: «Падая и вставая, ты растешь». Так и модели совершенствуются по мере отыскания объяснений еще вчера необъяснимым фактам.

Еще одна причина неприятия моделей — расхождение модельных оценок отдельных элементов климатической системы (иногда оказывающихся даже взаимопротивоположными) у разных авторов. В ходе вышеупомянутого международного сравнения программ в нескольких десятках моделей, созданных в разных странах, закладываются одни и те же входные параметры, после чего синхронно производятся заранее оговоренные расчеты (например, для определения, какие значения примут модельные неизвестные через 10 расчетных лет). И оказывается, что построенные *на одних и тех же физических законах* модели дают неодинаковые результаты. Несомненно, это может быть следствием ошибки по недосмотру или пренебрежения каким-либо природным явлением в конкретной модели. Однако вероятнее, корень зла заключается в различиях приближенных модельных описаний сложных («проблемных») или плохо изученных процессов. Яркой иллюстрацией сказанному служит «проблемная» облачность. Она оказывает огромное влияние на климат, и потому ни одна климатическая модель не может обойтись без ее учета. В то же время формирование облачности происходит с участием химических, радиационных, динамических и многих других процессов, имеющих масштабы от микрофизических до глобальных. По объективным обстоятельствам сколько-нибудь полно описать этот комплекс процессов со всеми их хитросплетениями не в силах ни одна современная модель. Как следствие, создатели моделей вынуж-

дены приближенно описывать («параметризовать») результаты участия этих процессов в формировании облачности, связывая их с моделируемыми величинами. Разумеется, авторы заботятся о том, чтобы в результате работы их параметризаций полученная картина облачности максимально походила на наблюдаемую, но упомянутые упрощения неизбежно вносят в нее заметные искажения — у каждой модели свои. Увы, таких малоизученных или просто «слишком сложных» для современных моделей процессов пока еще достаточно много.

Наконец, нет уверенности в том, что в будущем сохранятся связи и взаимодействия, положенные в основу модели при ее составлении. В основном это относится к аналоговым моделям, строящимся на данных продолжительных измерений в данном регионе. Известны случаи, когда такие модели климата и прогноза его изменений использовали результаты исследований климата далекого прошлого для отыскания их сходства с современным состоянием и характеристиками отдельных частей климатической системы. Такие прогнозы составлялись и выдающимся климатологом М.И.Будыко с сотрудниками в 1960–1970-х годах для изменений климата северного полушария по аналогам состояний климатического оптимума плейстоцена (периода примерно 6 тыс. лет до н.э.) и микулинского межледниковья (130–125 тыс. лет до н.э.) [2]. Согласно палеорекострукциям, в первый из этих периодов средняя температура приземного воздуха в средних северных широтах была на 1.0–1.5°C, а во второй — на 2.0–2.5°C выше ее значения в середине XX в. Эти реконструкции, по мнению авторов, могли соответствовать климатическим условиям начала и середины XXI в. В развитие этого подхода были осуществлены прогнозы изменений климатического режима средних

и высоких северных широт в конце XX — начале XXI в. Прогноз, сделанный с помощью палеоаналоговой и статистической моделей и предсказывавший максимальное потепление в нижней атмосфере околополюсных районов Европы и Западной Евразии зимой, не оправдался. Наблюдения последних десятилетий показали максимальное потепление на материках в средних широтах зимой (в России — западное озеро Байкал), но не около полюса. Причина такого расхождения — использование в указанных моделях данных наблюдений за реальным зимним потеплением в средних широтах и на западе Евразийского сектора Арктики 1930—1940-х годов. Тогда, как и в палеоклимате 6 тыс. и 125 тыс. лет до н.э., измеренная концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере не превосходила 300 ppm (300 молекул  $\text{CO}_2$  на миллион молекул газов воздуха): по результатам измерений концентрации  $\text{CO}_2$  в пузырьках воздуха ледниковых отложений Антарктиды и Гренландии она в ледниковые периоды последних 500 тыс. лет до н.э. не превосходила 190 ppm, а в межледниковьях, как и до наступления с середины XIX в. индустриальной эры, составляла 270—280 ppm. Регулярные современные измерения концентрации  $\text{CO}_2$  дают значительно большую величину — 370—380 ppm — концентрации этого ныне основного парникового газа. Так заметное и неучтенное различие даже одной, но важной климатической величины может привести к неудаче прогноза. Напротив, современные детерминистские модели, учитывающие этот рост  $\text{CO}_2$ , правильно предсказывают наблюдаемые в средних широтах потепление над материками зимой и летнее уменьшение осадков.

Как мог убедиться уважаемый читатель, пока еще не все ладно в «модельном королевстве», хотя интенсивная работа постоянно ведется.

## Что могут модели?

Итак, современные климатические модели имеют серьезные недостатки, но... если модели все же создаются, «значит, это кому-нибудь нужно». Существование и развитие моделей неразрывно связаны с всесторонними наблюдениями за нашей климатической системой: данные измерений используются как входные модельные параметры и они же служат мерилем качества работы моделей. Уникальность же моделей состоит в том, что они, *и только они*, могут помочь выявить и оценить основные механизмы формирования климата в условиях их комплексного постоянного взаимодействия, дать прогноз *наиболее вероятных* изменений климата в целом и отдельных его характеристик, проверить (не нанося какого-либо вреда окружающей среде!), какими последствиями чреваты для климата те или иные крупномасштабные человеческие акции. Резюмируем сказанное: климатический мониторинг ответственен за поставку достоверных фактов и должен давать ответы на вопросы «что, где и когда?», а предназначение моделирования — в истолковании этих фактов с позиции современных знаний и в ответах на вопросы «как и почему?».

Остановимся на нескольких фактах, за которые можно поставить моделям плюс. В 1970—1980-х годах, когда основным объектом исследований была атмосфера (рис.2), проводилось интенсивное модельное изучение формирования и поведения ее газового состава. В то время основную часть общего объема поступающей информации составляли модельные результаты, поскольку возможности атмосферного мониторинга были крайне скудны. Как следствие, очень низкие, практически недоступные измерениям того времени концентрации атмосферных радикалов (гидроксила, атомарного кислорода и др.) определялись с помощью мо-

дельных расчетов, правильность которых в дальнейшем подтвердили измерения. Тогда же именно модели предсказали наличие в атмосфере хлористого нитрозила  $\text{ClONO}_2$ , который лишь впоследствии был обнаружен в пробах воздуха.

Чуть позже, во второй половине 1980-х годов, были развернуты исследования, посвященные возможным последствиям ядерной войны. Модельные оценки (до «натурных экспериментов», подтверждающих правоту моделей, к счастью, дело не дошло) показали, что в результате массового применения ядерного оружия в климатической системе установится режим «ядерной зимы», когда резкое увеличение концентрации аэрозоля (дымов массовых пожаров) на продолжительный срок приведет к росту оптической толщины атмосферы, значительной трансформации в ней радиационных и динамических процессов и к появлению в тропиках низких температур, губительных для растительности.

При исследованиях влияния на климат тех или иных естественных и антропогенных факторов часто бывает необходимо оценить их количественно и сравнить степень этого влияния на климатические элементы. Такие важные для практики оценки (они, например, легли в основу ограничений Киотского протокола) — радиационное воздействие (radiative forcing), потенциал глобального потепления (global warming potential) — опять же могут быть рассчитаны (и рассчитываются начиная с конца 1980-х годов) только с использованием климатических моделей (об этом мы подробнее писали в нашей статье в журнале «Природа» [3]).

Упомянутые примеры интересны только узкому кругу специалистов. Другое дело — предсказания климата будущего: они затрагивают каждого. Для обычного человека этот интерес ограничен, как правило, сугубо практическими вопросами, на-

пример какую одежду взять с собой на курорт, стоит ли планировать лыжные каникулы под Петербургом ближайшей зимой или как уменьшить риск попадания в зону участвовавших в последние годы природных катаклизмов. Но для моделиста сделанный им прогноз — это и очередной шаг в познании климата, и определенная ответственность, так как с учетом его прогноза зачастую принимаются важные хозяйственно-экономические, а то и политические решения. «Позвольте! — вправе возразить читатель, — О какой ответственности может идти речь, если моделисты не в состоянии, как было сказано выше, получить идентичные результаты даже при проведении вычислений разными моделями с одинаковыми параметрами». Что ж, если результаты отдельно взятой модели не вызывают доверия, то можно рассмотреть комплекс результатов, полученных с помо-

щью всех моделей (а их в мире — несколько десятков), участвующих, например, в программах сравнения модельных результатов. Поскольку все они созданы на одних принципах, но независимо друг от друга, то эти результаты могут представлять собой статистический ансамбль, и проведя их обработку по всем правилам математической статистики, мы получим наиболее вероятное значение («математическое ожидание») климатического элемента, например температуры воздуха или количества осадков, а также границы его вероятных изменений («среднеквадратическое отклонение»). Успешность такого подхода уже нашла свое подтверждение.

В конце 1980-х — начале 1990-х годов была создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). В ее задачу, в частности, входит координация всесторонних усилий, направленных

на изучение эволюции климата и ее последствий. В регулярно издаваемых отчетах МГЭИК приводятся модельные оценки вероятных изменений основных климатических элементов в обозримом будущем, полученные с использованием вышеописанного подхода. Упомянем, что при подготовке последнего, вышедшего в 2007 г., отчета с этой целью МГЭИК использовала около 20 моделей глобального климата Земли. В частности, в нем указано, что в период 1990—2007 гг. зафиксировано увеличение среднеглобальной температуры воздуха на 0.2°C, и именно такая величина была предсказана модельными оценками.

«Ну, хорошо, один раз совпало, — снова усомнится читатель, — но изменения климата, об этом не раз писали и говорили в СМИ, напрямую зависят от содержания в атмосфере парниковых газов — CO<sub>2</sub>, метана и других. Понятно, их концентрации

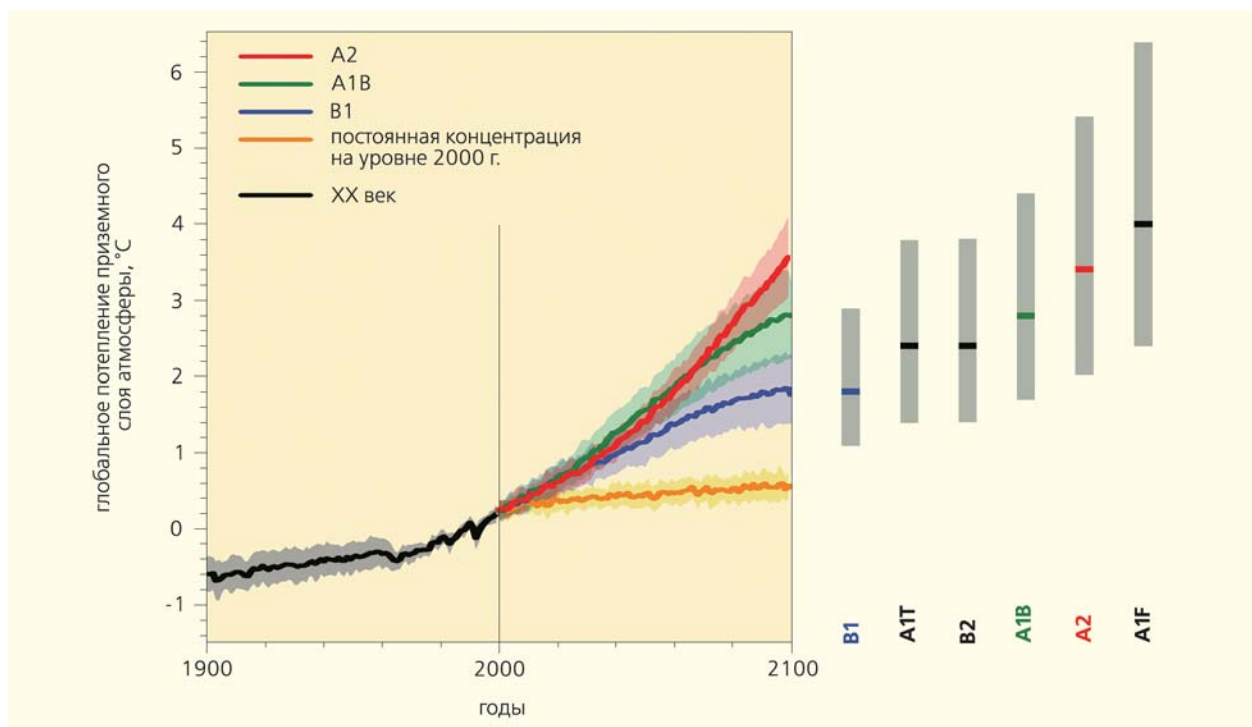


Рис.3. Сплошные линии представляют собой мультимодельные глобальные средние значения приземного потепления (относительно 1980—1999 гг.) для ряда сценариев, которые показаны в качестве продолжений моделирования XX в. Розовая линия соответствует эксперименту, при котором концентрации удерживались постоянными на уровне 2000 г. Столбики справа обозначают наилучшую оценку (сплошная линия в каждом столбике) и вероятный диапазон, оцененный для шести сценариев в период 2090—2099 гг. в сравнении с 1980—1999 гг. [6].

в моделях учитывают. Только кто может знать, сколько будет в атмосфере, скажем, того же метана через полвека — он же попадает туда и с газо- и нефтедобывающих установок, и из болот, и с рисовых полей, и даже от крупного рогатого скота... Как все это учесть?» Действительно, эволюция содержания в атмосфере парниковых газов во многом определяет изменения климата, а то, какими будут их концентрации, зависит от интенсивности и методов хозяйствования ведущих мировых держав, а также от международных соглашений, регламентирующих выбросы таких газов в атмосферу. Неопределенность в этом вопросе очень велика, поэтому экспертами МГЭИК были разработаны несколько десятков сценариев эмиссии парниковых газов — от наиболее вероятных до весьма экзотических, и в соответствии с каждым из них были сделаны модельные расчеты изменения климатических элементов вплоть до конца XXI в.

Из множества сценариев ожидаемого развития природы и общества в XXI в. выбраны шесть основных, указанных на рис.3. Из него видно, что по сценарию В1 («конвергирующий» мир с быстрым ростом информатики) ожидаются наименьшее потепление и влияние человека на климат, а по сценарию А2 («пестрый» мир с постоянным ростом населения) и А1F («продолжение промышленного развития с упором на использование ископаемого топлива») это влияние максимально. Даже при гипотетическом прекраще-

нии выброса CO<sub>2</sub> в атмосферу в XXI в. будет иметь место медленное потепление, так как выброшенный CO<sub>2</sub> удаляется достаточно медленно (снижение его начального содержания почти в три раза происходит за 100 лет). На рис.3 модельные оценки изменения температуры в приземном слое мало различаются от сценария к сценарию в ближайшие десятилетия, однако к концу XXI в. разброс значений станет существенным. Наше специальное исследование, и это подтверждает рис.3, свидетельствует о слабой чувствительности климатических элементов (в том числе приземной температуры) к неопределенности в задании концентраций парниковых газов, если последняя не превосходит 30%.

Относительно недавно было высказано опасение, что парниковое потепление поверхности океана со временем (через 100—200 лет, так как океан обладает много большей инерцией, чем атмосфера) может изменить скорость водооборота в системе глубинных течений Мирового океана и это может привести к отклонению течения Гольфстрим от Европы. Известно, что Гольфстрим «обогревает» Западную Европу, и, случись такое отклонение, оно может серьезно отразиться на европейском климате. Однако, как показали модельные расчеты, отклонение Гольфстрима от Европы не приведет, тем не менее, к климатической катастрофе, поскольку к тому времени уровень глобального парникового потепления перекроет ожидаемое похолода-

ние Западной Европы от ухода Гольфстрима. Несомненно, случай проверить этот вывод представится еще очень нескоро, но констатируем: модели — единственный инструмент, позволяющий оценивать результат такого сложного многофакторного взаимодействия частей климатической системы.

## Моделям — да!

Модель, очевидно, не может быть умнее своего создателя, в ней всегда отражается уровень наших сегодняшних знаний. Многого мы еще не знаем, но и знаем не так уж мало. Приведенные выше факты свидетельствуют о том, что уже сейчас модели в состоянии качественно верно описывать многое из того, что происходит в климатической системе Земли. И это дает надежду на успешность будущих прогнозов изменений климата.

Глобальное потепление уже вносит и будет вносить в дальнейшем коррективы в хозяйственно-экономическую деятельность мирового сообщества. Поэтому для принятия ответственных решений люди, их принимающие, как никогда будут нуждаться в максимально достоверных прогнозах. На данный момент получить подобный прогноз можно только по двум адресам: либо у ученых, моделирующих современный климат и его вероятные изменения, либо у сильно расплодившихся в последние годы «ясновидцев». Надеемся, что наш читатель выберет первый. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 05-05-64496.**

## Литература

1. Кароль И.Л., Катцов В.М., Киселев А.А., Кобышева Н.В. О климате по существу и всерьез. СПб., 2008.
2. Будыко М.И. Изменение климата. Л., 1974.
3. Кароль И.Л., Киселев А.А. Оценка ущерба «здоровья» атмосферы // Природа. 2003. №6. С.25—30.
4. Изменение климата. Комплект информационных карточек по изменению климата. ЮНЕП РКИКООН, 2003.
5. Изменение климата, 2001 г.: Обобщенный доклад / Под ред. Р.Т.Уотсона, ВМО-МГЭИК. Женева, 2003.
6. Изменение климата, 2007 г. / Под ред. С.Соломон и др., ВМО-МГЭИК. Женева, 2007.



# Теплые поймы холодных рек

В.М.Михайлов

Речные долины занимают в жизни человека очень важное место. С древнейших времен реки служили основными транспортными магистралями, а их берега были и остаются наиболее удобными местами для поселения. Особая роль принадлежит тем рекам зоны многолетней мерзлоты, в поймах которых промороженные грунты уступают место талым.

На обширной территории северо-востока Азии из-за предельно сурового климата и «подземного оледенения» тайга отступает далеко к югу, и до самых границ региона (южнее 60-й параллели) простираются однообразные ландшафты тундролесий [1]. В долинах и в нижнем поясе гор здесь господствуют угнетенные лиственничные редины (рис.1), но при этом вдоль рек на десятки и сотни километров тянутся многоярусные смешанные леса, зачастую с густыми кустарниками и травостоями. Среди лиственных пород в них доминируют чозения (народное название «ива-корейнка», рис.2) и тополь душистый. В таких лесах и лиственница вырастает в полноценное высокоствольное дерево (рис.3). Известно, что в зимнее время в них «...сосредоточена практически вся активная жизнь зверей и птиц» [2. С.12]. Долинные леса распространяются и в тундровую зону, где лиственница, при всей своей неприхотливости, из их состава выпадает. Биоценозы смешанных и лиственных лесов потенциально



**Владимир Матвеевич Михайлов**, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Северо-Восточной научно-исследовательской мерзлотной станции Института мерзлотоведения им.П.И.Мельникова СО РАН. Область научных интересов — талики речных долин, геологическая деятельность рек.

представляют собой один из наиболее значимых возобновляемых ресурсов территории.

Подобные леса растут только на талых грунтах, и в зоне многолетней мерзлоты служат общепризнанным индикатором пойменных таликов. Занимая

всю пойму и нередко распространяясь и в надпойменные террасы, они в общей сложности охватывают тысячи квадратных километров. Неудивительно, что изучение таликов составляет одну из важных проблем мерзлотоведения.



Рис.1. Тундролесье.



Рис.2. Чозении (встречаются и более крупные экземпляры).



Рис.3. Смешанный лес в пойме небольшой реки (справа — чозении, слева — лиственницы, на заднем плане также сменяющиеся чозениями).

## Формирование пойменных таликов

О таликах, занимающих днища речных долин, написано много, но последовательный анализ причин их формирования до недавних пор по существу отсутствовал. Разные авторы ведущую роль отводили разным факторам. Это интенсивная боковая миграция русел рек, приводящая к прогреву подстилающих горных пород; отепляющее влияние склонового стока и/или атмосферных осадков; прогрев грунта при затоплении поймы паводковыми водами; конвективный теплообмен с реками и/или с поверхностью.

Все перечисленные мнения, кроме последнего, не выдерживают серьезной критики: для каждого можно подобрать ряд примеров отсутствия пойменных таликов именно там, где соответствующий фактор действует с наибольшей силой. С конвективным теплообменом дело обстоит сложнее, так как судить о его развитии по внешним признакам невозможно, и в любом из двух вариантов эта гипотеза нуждается в количественном обосновании. Единственная попытка такого рода была сделана магаданским мерзлотоведом В.Г.Гольдтманом [3]. По его мнению, между таликом и рекой происходит постоянный обмен порциями воды; при этом русло служит «... источником, местом питания фильтрационных потоков... а также местом стока (выхода) фильтрующейся воды на более низкой отметке» [3. С.281]. На пути фильтрации вода, остывая, отдает тепло, приобретенное за время пребывания в русле. Это потенциально наиболее действенный механизм теплообмена, хотя соответствующая схема взаимодействия грунтовых и поверхностных вод (рис.4) проста и очевидна лишь на первый взгляд. С точки зрения специалиста она нуждается в очень тщательном обосновании, о чем речь пойдет ниже.

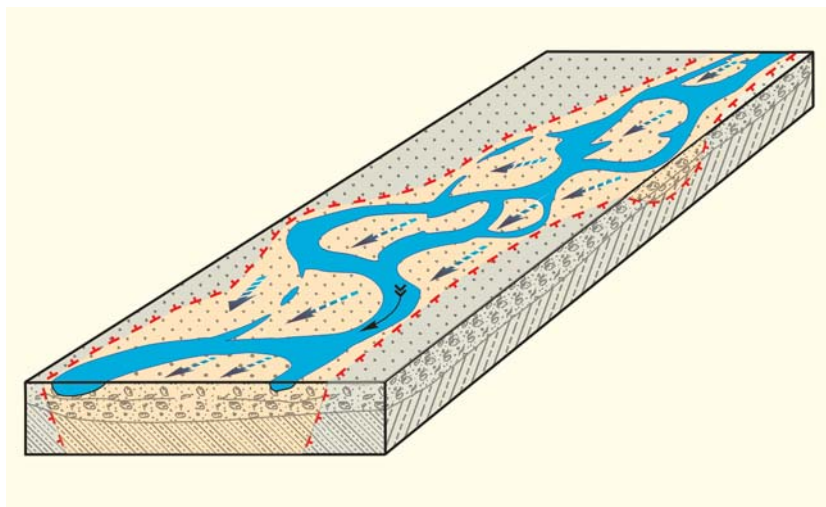


Рис. 4. Схема циркуляции грунтовых вод в пойменных таликах (стрелками показано направление движения).

Но для исследований теплообмена в системе река—талики вовсе не обязательно (в первом приближении) иметь четкие представления о том, как он осуществляется. Что действительно необходимо — это отойти от привычного для мерзловедов подхода, при котором объектом изучения обязан быть сам талик, и обратить основное внимание на реку. Во-первых, их тепловое взаимодействие должно намного сильнее сказываться на термическом режиме русловых вод, так как площади и объемы таликов больше на порядки величин. Во-вторых, что не менее важно, реки несравненно доступнее для количественных исследований. Сколько-нибудь точные оценки теплового баланса даже небольшого участка поймы представляют собой практически неподъемную задачу, включающую многочисленные измерения температур и скоростей подземного потока на различных глубинах, причем эта и другие необходимые характеристики сильно варьируют по площади. Наоборот, все данные, необходимые для вычисления традиционно учитываемых тепловых потоков, влияющих на температуру речных вод, можно без особых затруднений и с хорошей точностью получить как путем

непосредственных измерений, так и по справочным материалам. Поэтому невязки теплобалансовых расчетов, осуществляемых по общепринятым схемам, представляют собой не что иное, как оценки интенсивности конвективного теплообмена реки с вмещающими горными породами.

На северо-востоке Азии в июле конвективный тепловой поток в пойменные талики ( $q_{\text{conv}}$ ) составляет в среднем около  $1000 \text{ Вт/м}^2$  (в расчете на единицу водной поверхности). Весьма примечательно, что систематических изменений данной величины с крупностью водотоков не наблюдается, она примерно одинакова как для небольших горных ручьев, так и для крупнейшей реки региона Колымы, при площадях водосборов от 20 до 140 тыс. км<sup>2</sup> [4, 5].

Обогрев пойм начинается сразу после ледохода, быстро достигает максимума и продолжается с убывающей интенсивностью, захватывая начало осени. Далее  $q_{\text{conv}}$  меняет знак, и талики начинают возвращать тепло в речные русла. Температура воды средних и крупных рек лежит при этом в диапазоне  $4\text{--}7^\circ\text{C}$ , она тем выше, чем многоводнее река [5]. Максимальный прогрев грунта приходит-

ся, по-видимому, на это же или несколько более позднее время, при близких значениях температур. В поймах небольших водотоков конвективный тепловой поток намного более динамичен и в контрастную погоду меняет направление дважды в течение суток, ночью и ранним утром. Температуры воды, а соответственно и таликов, составляют при этом в середине лета примерно  $3\text{--}5^\circ\text{C}$  [4]. Приведенные цифры могут выглядеть не очень впечатляющими, но для грунтов криолитозоны, особенно наиболее холодного ее региона, это весьма высокие значения.

В целом за период с положительными значениями  $q_{\text{conv}}$  реки отдают пойменным таликам больше половины всей поступающей извне энергии ( $700\text{--}1000 \text{ МДж/м}^2$ ). Талики намного шире рек, и в пересчете на единицу своей поверхности получают от них тепла примерно на порядок меньше. Тем не менее в тепловом балансе пойменных грунтов это ведущая приходная составляющая. При этом тепло поступает непосредственно в толщу обводненных аллювиальных отложений, не расходуясь на «бесполезный» (с точки зрения существования талика) прогрев вышележащей зоны аэрации до более высоких температур.

Из всего сказанного следует, что конвективный теплообмен с водотоками не просто способен поддерживать существование пойменных таликов — он для этого избыточен. Поэтому на распространении таликов никак не могут «напрямую» сказываться климатические и мерзлотные характеристики территории. В сравнительно небольшом масштабе это видно на примере р.Танюер, впадающей с севера в р.Анадырь. В нижнем течении по берегам этой реки среди скудной тундровой растительности часто встречаются мощные стволы чозений и тополей, принесенные за сотни километров из заполярных верховьев.

## Пойменные талики и термический режим рек

Почти все авторы, полагавшие, что формирование пойменных таликов так или иначе связано с реками, в число основных факторов включали температуру речных вод. При этом считалось само собой разумеющимся, что связь прямая: чем теплее река, тем более вероятно образование талика и тем больше его размеры. На самом деле, как ни парадоксально это выглядит, взаимосвязь противоположна. Дело в том, что температура воды в реке отнюдь не является некоей назначенной свыше величиной. Она определяется комбинацией разнонаправленных тепловых потоков, большинство из которых в свою очередь зависит от температуры воды.

Как известно, практически единственным источником энергии для внешней оболочки нашей планеты служит солнечное излучение. Большая его доля приходится на коротковолновый диапазон, поэтому атмосфера задерживает всего около 15% лучистой энергии, и основным ее приемником является поверхность Земли. Воду часто образно называют ловушкой для солнечной радиации, ибо она отражает лишь 10% поступающего излучения — примерно вдвое меньше, чем (в среднем) остальные естественные поверхности. Поскольку к тому же почва в долинах обычно затенена растительностью, то реки получают солнечной энергии намного больше, чем вмещающие грунты, не говоря уже о прилегающем слое воздуха.

Рассмотрим дальнейшее перераспределение этой энергии, оставляя в стороне второстепенные детали (необходимые для точных количественных оценок) — изменения температуры воды вниз по течению, а также в суточном и сезонном циклах. На границе раздела вода—атмосфера действуют встречно направленные потоки длинновол-

новой радиации, турбулентный теплообмен и поглощение либо выделение тепла за счет фазовых переходов. Аргументами соотношений для расчета этих составляющих служат, в различных комбинациях, температура речных вод и метеорологические характеристики. Поскольку воздух почти всегда находится в движении, то последние определяются интегральными свойствами подстилающей поверхности на обширных территориях, и для реки это по большому счету внешние, независимые параметры. Поэтому в одинаковых климатических условиях результирующий тепловой поток от реки в атмосферу определяется только температурой воды.

На рис.5 показана упрощенная структура теплового баланса двух рек (с пойменным таликом и без него) в два характерных периода. Летом, если взаимодействие с вмещающими породами ограничено малоэффективным механизмом молекулярной теплопроводности, река может отдавать избыточное тепло только в атмосферу. Для этого вода должна быть достаточно нагретой, на что затрачивается некоторая часть получаемой энергии. Наоборот, выхолаженные за зиму пойменные талики спо-

собны поглотить большие количества тепла и при сравнительно низких температурах речных вод. Соответственно уменьшаются прогрев воды и доля энергии, отдаваемой в атмосферу.

В конце лета реки, получая все меньше лучистой энергии, остывают и уже ранней осенью становятся холоднее вмещающих горных пород. Если летом конвективный теплообмен обеспечивал «закачивание» в поймы огромных запасов тепла, то теперь он же способствует их интенсивному расходованию. Понятно, что это должно замедлять охлаждение речных вод.

Тесное тепловое взаимодействие с пойменными таликами наиболее ярко проявляется в своеобразном распределении температур воды в ряде крупных рек: летом максимальные значения наблюдаются не на участках с самым теплым климатом, а намного ниже по течению, тогда как осенью приращения температур по длине рек (как воды, так и воздуха) меняют знак [5]. Это явление, впервые отмеченное мерзлотоведом П.Ф.Швецовым для р.Индикирки [6], настолько расходится с привычными представлениями, что было названо им термическими аномалиями. Швецов видел при-

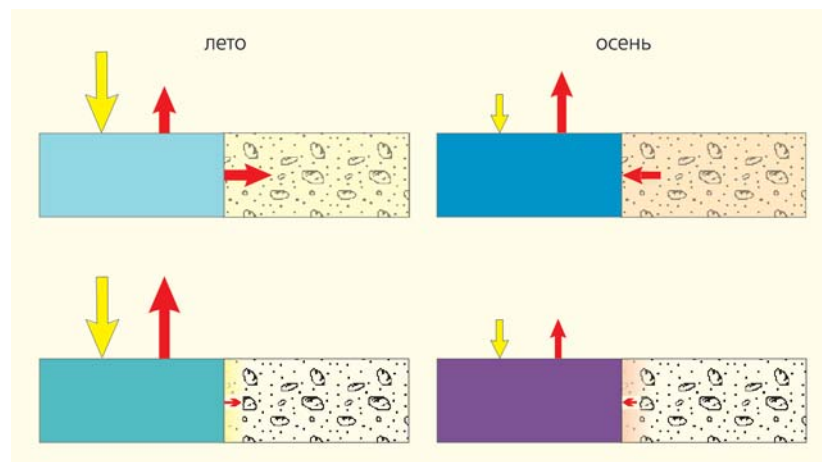


Рис.5. Структура теплового баланса речных вод (вверху при развитии конвективного теплообмена с аллювиальными отложениями, внизу — при его отсутствии). Желтые стрелки обозначают поступление энергии с коротковолновым солнечным излучением; красные — теплообмен с атмосферой и горными породами.

чину в том, что на вышележащих участках в питании реки летом значительны доли тающих ледников и наледей, а также холодных родников, зимой же здесь действуют теплые источники. Но влияние наледей, и тем более ледников, расположенных в самых удаленных истоках реки, вниз по течению быстро сходит на нет (чем холоднее вода, тем интенсивнее ее нагрев). Кроме того, сильнее всего «аномалии» выражены в р.Анадырь, в бассейне которой наледи малочисленны, а ледников нет вовсе. В июле температура воды возрастает вниз по течению от пос.Марково с самыми высокими температурами воздуха («Марковский оазис») к совхозу Снежное, расположенному в 300 км, на 4.0°C, а в первой декаде октября понижается на 1.3°C. Смену летних холодных родников зимними теплыми источниками в принципе можно трактовать как круглогодичное функционирование мощных выходов глубинных вод с мало изменяющимися температурами (летом более низкими, чем в водотоке, осенью и зимой наоборот). Но их широкое распространение на большом протяжении крупных рек весьма маловероятно.

«Аномалии» (на самом деле это, очевидно, закономерность) исчерпывающе объясняются тем, что на вышележащих участках реки поддерживают пойменные талики, маркируемые смешанными лесами. Вниз по течению талики выклиниваются; отсюда и принципиальные различия в структуре теплового баланса (см. рис. 5) и в температурах речных вод. Осенний подогрев рек пойменными таликами обуславливает и еще одну «аномалию»: задержку ледостава примерно на 10 дней по сравнению с нижележащими участками, где воздух в этот период теплее [5]. Остатков тепла, накопленного в таликах, хватает на поддержание в течение всей зимы систем незамерзающих полыней, широко распространенных на северо-востоке Азии [7].

## Теплообмен и водообмен

Как правило, под водообменом рек с вмещающими рыхлыми отложениями понимается береговое регулирование [8]: на подъеме уровня воды в реке фильтрационный поток направлен из русла в пойму, на спаде обратно. Очевидно, что такая медленная «возвратно-поступательная» циркуляция вряд ли способна обеспечивать интенсивный теплообмен рек с поймами.

Грунтовые воды движутся также вниз по уклону долины, и в каждый момент времени степень отклонения от этого направления определяется соотношением между проницаемостью отложений и скоростью изменения уровня воды в реке. Отклонение может быть близко к нулю при неизменном уровне либо очень большой проницаемости. Уровень воды в реках редко остается постоянным, и даже при таких фильтрационных свойствах аллювия, которые принято было считать высокими, береговое регулирование действует практически всегда. Наблюдения 50-х годов в пойме р.Ушаковки (приток Ангары вблизи Иркутска) показали, что на десятый день от начала паводка (т.е. речь идет о медленных колебаниях) подъем зеркала грунтовых вод в 50 м от берега составил 40% от приращения уровня в реке, а на расстоянии 250 м — всего около 1% этой величины [8]. Естественно, фильтрационный поток был здесь направлен из русла в пойму, практически перпендикулярно уклону долины.

Сравним эти цифры с результатами, полученными на экспериментальном участке в пойме р.Колымы (рис.6,а). Здесь в аллювиальные отложения легко распространяются едва ли не самые незначительные колебания уровня. Максимальное запаздывание экстремальных значений по отношению к реке в самой «инерционной» скважине №17, расположенной в 400 м от берега, немногим превышало 8 ч,

а размах короткопериодных колебаний уменьшался здесь менее чем вдвое. Поэтому общее направление фильтрационного потока, спрямляющего излучину реки, оставалось практически неизменным и на подъеме, и на спаде уровня, с интервалом всего около суток (рис.6,б). Понятно, что если в предыдущем случае речь шла о высокой проницаемости грунта, то в пойме Колымы она чрезвычайно высока.

Именно такими фильтрационными свойствами аллювиальных отложений обусловлен их интенсивный теплообмен с реками, служащий причиной формирования пойменных таликов. Поток грунтовых вод всегда движется по общему уклону долины (с небольшими локальными отклонениями), многократно пересекая русло (см. также рис.4, б). В результате практически в каждом поперечном сечении реки вдоль вышележащего берега происходит высачивание грунтовых вод в русло, вдоль противоположного — инфильтрация в аллювий речных вод. Таким образом, водообмен реки с поймой во всех фазах уровенного режима носит обоюдный, встречный характер.

Возвращаясь к природе «термических аномалий» в реках, можно сказать, что на участках развития пойменных таликов действительно постоянно функционируют многочисленные родники и источники. Но на самом деле они представляют собой выходы в речные русла аллювиальных вод, которые фильтровались в грунте непродолжительное время и на расстояния, сравнимые с шириной русла.

Некоторые характерные черты фильтрационных потоков в пойменных таликах демонстрируют результаты термометрических съемок в небольшой протоке р.Яма в конце лета (рис.7). В утренние часы со стороны левого берега в протоку обильно поступали теплые грунтовые воды. На плесе, где вдоль правого берега вода впитывалась в аллювий, туда же была направлена по-

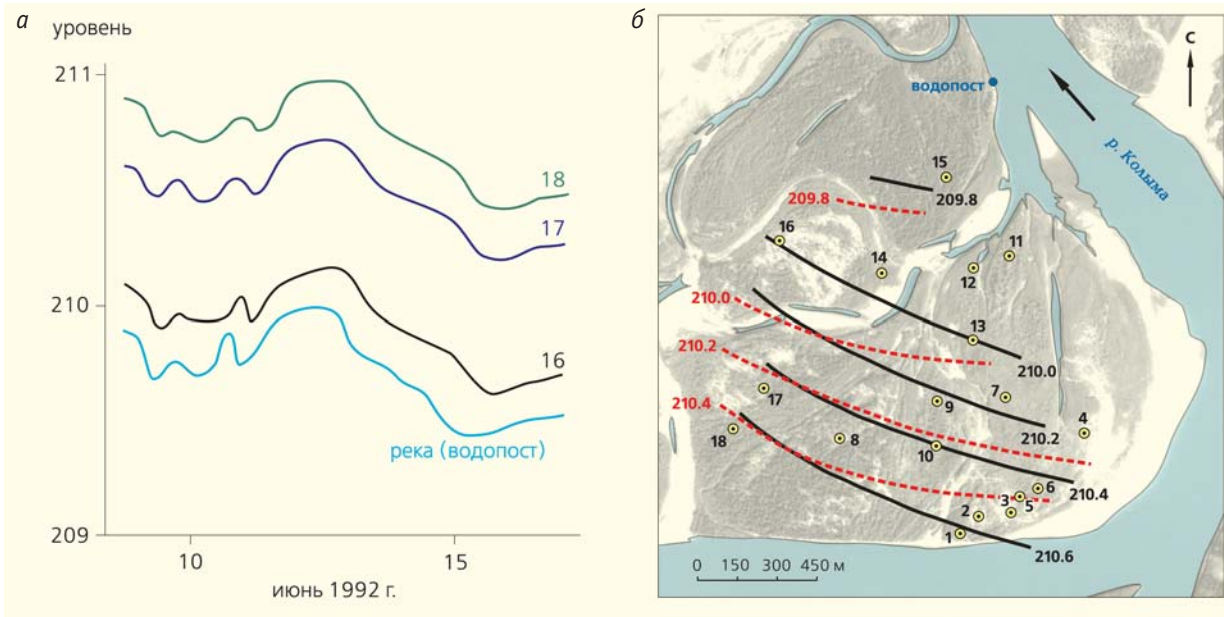


Рис.6. Уровни воды в р.Колыме и в ее пойме: а — изменения во времени, оцифровка линий соответствует номерам скважин, обозначенных кружками в правой части рисунка; б — изолинии уровней на подъеме (пунктир) и на спаде.

перечная составляющая скорости течения; по мере смещения вправо вода охлаждалась, отдавая тепло в атмосферу. На перекате, расположенном в 50 м ниже по течению, грунтовые воды высачивались в протоку также и вдоль правого берега, имея здесь очень низкие температуры.

Из-за слабого турбулентного перемешивания (скорость течения в русле 0.08 м/с и меньше) тепловое взаимодействие воды с окружающей средой проявлялось также и в вертикальном распределении температур. На плесе привлекает внимание противоположный наклон изотерм по разные стороны от тальвега. Очевидно, что в левобережной части охлаждение с поверхности частично компенсировалось поступлением теплых грунтовых вод (особенно заметном в месте скопления тины), и что оно обусловлено наклоном дна «навстречу» фильтрационному потоку. Справа от тальвега охлаждению воды ничто не препятствовало, отсюда и сгущение изотерм.

Судя по глубине плесов в основном русле реки, мощность хорошо проницаемого аллювия

в пойме составляет не менее 4 м. В протоке ежегодно нерестится рыба лососевых пород, многократно перерывающая донные отложения, что исключает их заиливание. Таким образом, условия для поступления грунтовых вод через дно протоки здесь идеальны, и представленная картина с максимальной наглядностью демонстрирует сосредоточенность фильтрацион-

ного потока в субгоризонтальной плоскости. Вторым немаловажным выводом заключается в существенной плановой неоднородности этого потока: его поперечная по отношению к руслу составляющая имела противоположные направления на небольших расстояниях.

Очевидно, что интенсивность водообмена находится в прямой зависимости от скоро-

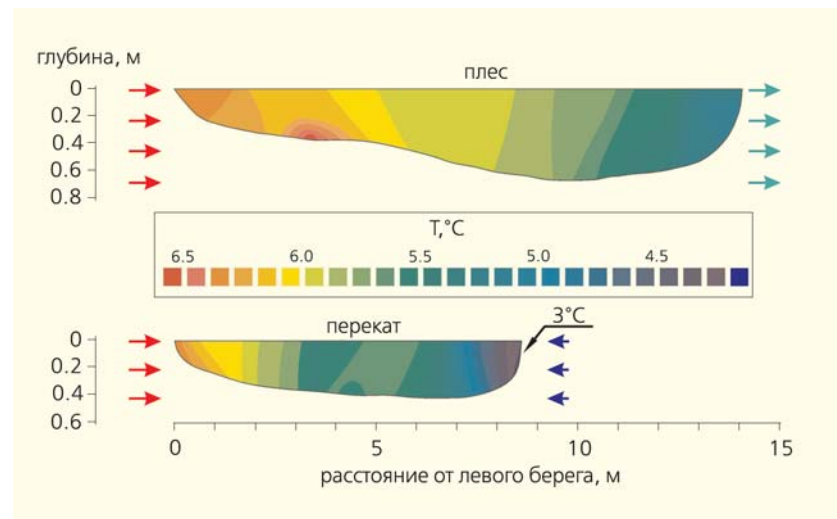


Рис.7. Температурные профили в протоке р.Ямы. Стрелками показаны поперечные (по отношению к руслу) составляющие движения грунтовых вод.

сти фильтрации\* грунтовых вод (в однородном потоке связь пропорциональна). Наши недавние исследования [9] показали, что при очень больших различиях в градиентах гидравлического напора (в целом они близко соответствуют уклонам долин, лежащим в диапазоне от 0.02 до 0.0008), прямо пропорциональные им скорости фильтрации сколько-нибудь заметно не изменяются. Независимо от крупности водотока они варьируют в широком диапазоне от десятых долей до нескольких метров в час, иногда превышая 10 м/ч. Очевидно, что это означает существенное увеличение проницаемости аллювия с водностью реки.

Эффективную проницаемость можно приближенно определить по степени затухания колебаний уровней грунтовых вод при распространении в пойменный массив. С использованием данных, частично показанных на рис.6, были получены

\* Скорость фильтрации — расход воды через единицу площади поперечного сечения фильтрационного потока, традиционно измеряется в метрах в час, метрах в сутки; проницаемость грунта (коэффициент фильтрации) равна скорости фильтрации при предельном градиенте гидравлического напора, равном 1; эффективная проницаемость — коэффициент фильтрации условной однородной среды, обладающей такой же водопропускной способностью, как и реальный исследуемый грунт.

значения от 220 до 400 м/ч, хорошо коррелирующие с оценками скоростей фильтрации. Подобные результаты еще недавно не могли не вызвать сомнений у любого специалиста. Они противоречат многочисленным литературным сведениям, согласно которым значения коэффициента фильтрации аллювиальных отложений около 10 м/ч уже считаются высокими, а 25—30 м/ч очень высокими. Вернемся, однако, к приведенному выше сравнению рек Колымы и Ушаковки. В пойме второй из них проницаемость отложений составляет 7—11 м/ч [8], и при этом в них с трудом проникают даже мощные длиннопериодные волны паводков. На графике, аналогичном помещенному на рис.6,а, изменение уровня грунтовых вод в 250 м от реки изображалось бы в том же масштабе почти горизонтальной линией. На фоне таких различий полученные оценки уже не могут выглядеть завышенными.

Подводя итог, хотелось бы остротой внимание читателя на одном весьма примечательном факте. С ростом водности рек существенно изменяются значения всех пяти основных характеристик, определяющих интенсивность их теплообмена с таликами. Но влияние этих вариаций имеет разную направленность, поэтому, несмотря на их огромные масштабы (так, уклоны до-

лин исследованных рек и ручьев различаются в 40 раз), результирующий эффект оказывается близок к нулю — о чем и свидетельствуют результаты теплобалансовых расчетов [4, 5]. Трудно избавиться от впечатления, что природа особо озаботилась созданием максимально благоприятных условий для широчайшего распространения пойменных таликов в речных системах северо-востока Азии. Ключевым фактором является то, что эффективная проницаемость аллювиальных отложений не просто очень высока — она увеличивается с водностью рек в десятки раз, хотя, казалось бы, следует ожидать ухудшения фильтрационных свойств (вследствие уменьшения размеров галек, а соответственно и пор). Причины таких экстраординарных свойств аллювия требуют специального обсуждения.

Здесь же стоит еще раз подчеркнуть, что поскольку вода максимально открыта потоку солнечной энергии и является наиболее эффективным ее приемником, то повсеместно (а отнюдь не только в криолитозоне) сравнительно низкие температуры речных вод служат свидетельством интенсивного обогрева аллювиальных отложений. Несколько упрощая, можно также сказать, что самые теплые грунты приурочены к поймам наиболее холодных рек. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 02-05-65304 и 04-05-65316.**

## Литература

1. Пармузин Ю.П. Тундролесье СССР. М., 1979.
2. Кречмар А.В. Росомаха — неумолимый охотник // Природа. 2004. №4. С.11—16.
3. Гольдтман В.Г. Влияние подземных вод на температуру вечномерзлой толщи и таликов // Тр. ВНИИ-1. 1969. Т.29. С.273—291.
4. Михайлов В.М. // Криосфера Земли. 2003. Т. VII. №2. С.57—66.
5. Михайлов В.М. // Геоэкология. 2008. №3. С.214—221.
6. Швецов П.Ф. Аномалии в термическом режиме потока р.Индиگیرка в двух характерных створах и их происхождение // Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике. Вып.3. 1952. С.106—108.
7. Кузнецов А.С. Наледи и полыньи на Северо-Востоке СССР // Сб. работ по гидрологии №2. Л., 1961. С.72—86.
8. Куделин Б.И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М., 1960.
9. Михайлов В.М. Особенности режима подземных вод в грунтово-фильтрационных пойменных таликах // Криогенные ресурсы полярных и горных регионов. Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения. Мат. междунар. конф. (Тюмень, 21—24 апреля 2008 г.). Тюмень, 2008. С.356—359.

# Вэньчуаньское землетрясение в мае 2008 г. в Китае\*

Землетрясение 12 мая 2008 г. в Южном Китае стало настоящей сейсмической катастрофой по масштабу последствий и событием мирового значения по научной ценности. В стране подобного не происходило более 30 лет. В 2008 г., т.е. практически через полгода после землетрясения, как на китайском языке, так и на английском, появился ряд публикаций, ему посвященных. Статью профессора Ма Цзинь с соавторами отличает хорошее знание отечественных и зарубежных источников, охват различных аспектов региональной геодинамики и сейсмологии, рассмотрение в совокупности и в сопоставлении полевых наблюдений и результатов лабораторных экспериментов, освещение проблемы оценки долговременной сейсмической опасности в условиях длительного, продолжавшегося тысячелетия, сейсмического спокойствия региона, в котором предсказать столь масштабное событие было невозможно. На русском языке это первая специализированная публикация о выдающемся сейсмическом событии.

Ма Цзинь

Сильнейшее землетрясение с  $M = 8$  произошло 12 мая 2008 г. в китайской провинции Сычуань (координаты эпицентра  $31.0^\circ$ с.ш.,  $103.4^\circ$ в.д., глубина очага 14–20 км). До конца августа последовало еще восемь афтершоков с  $M \geq 6$  и более 30 с  $M \geq 5$ . Это сейсмическое событие оказалось катастрофическим: погибло 69 225 человек, 374 640 было ранено, 17 932 человека, по официальным сообщениям на конец августа 2008 г., считались пропавшими без вести. Оно произвело колоссальные разрушения\*\*. В регионе на-



*Ма Цзинь, профессор, академик Академии наук КНР, сотрудник Государственной главной лаборатории сейсмодинамики Института геологии Сейсмологического бюро КНР в Пекине. Область научных интересов — тектонофизика и геодинамика применительно к изучению землетрясений.*

\* Эта статья написана специально для российских читателей на основе доклада автора совместно с Лю Личиань, Лю Ксиа, Лю Пешун, Ма Сэнли, Гуо Уаньшун на Всероссийской конференции «Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле», 13–17 октября 2008 г. в Москве в Институте физики Земли РАН. Мы благодарим профессора А.А.Никонова и журнал «Природа» за предложение написать эту статью.

\*\* Серьезно пострадала территория площадью 125 тыс. км<sup>2</sup> с населением свыше 46 млн человек, без малого 8 млн домов разрушено и 24,5 млн вышло из строя. Из района бедствия эвакуировано более 9 млн человек (здесь и далее комментарии А.А.Никонова).

блюдались и геологические последствия: срывы со склонов, оползни и подпруживание озер.

Китай, как в его континентальной части, так и на Тайване, — территория сейсмически высокоактивная. За последние 40 лет (со времени Ксинтайского землетрясения 1966 г. в 300 км к югу от Пекина) китайские ученые предприняли серьезные усилия по изучению закономерностей возникновения и проявления землетрясений, и эти усилия продолжают и поныне. В провинции Сы-

чуань на юго-западе Китая проводился специальный мониторинг, чтобы возможные разрушительные землетрясения не застали население врасплох. Событие в Вэньчуане в долговременном аспекте не было неожиданным. Тем не менее точного предсказания и предупреждения об опасности непосредственно перед толчком (от нескольких дней до месяцев) не поступило.

Мы попытались осмыслить и оценить это событие в течение истекшего года.

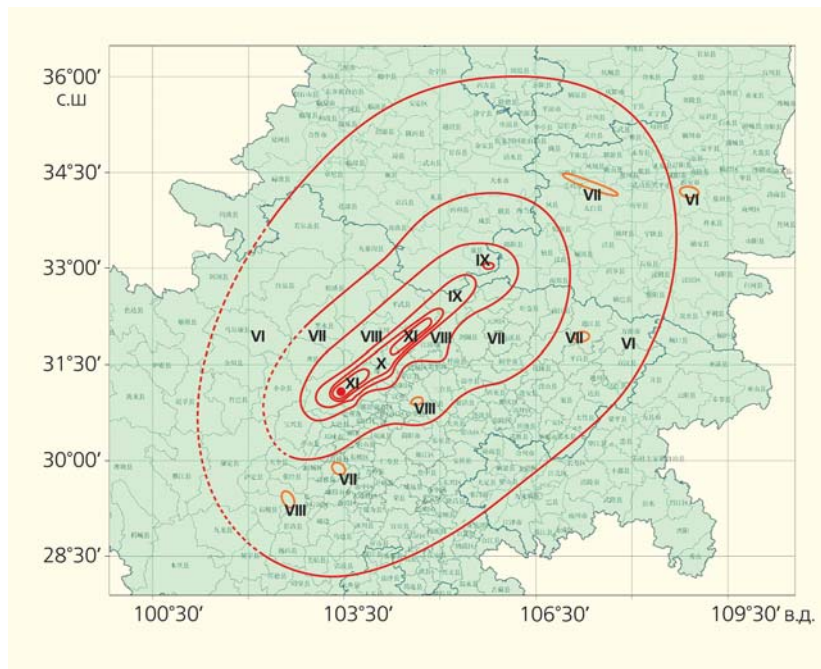


## Разрушения и разрывы на поверхности

Последствия землетрясения ощущались на огромной территории, включающей провинции Сычуань, Ганьсу, Цинхай и Шэньси. Проведенное национальными силами немедленного реагирования полевое обследование показало, что область сейсмической интенсивности  $I \geq VII$  баллов (по шкале Меркалли) особенно велика в провинции Сычуань, где на двух участках сотрясения достигали XI баллов\*. Один из таких участков находится вблизи эпицентра у г.Инью округа Вэньчуань, а другой — в округе Бэйчуань, в 150 км от эпицентра. Непосредственные разрывы земной поверхности вдоль сейсмогенных разломов, смещения грунта сейсмическими волнами практически полностью разрушили г.Инью. В округе Бэйчуань преимущественно наблюдались вторичные нарушения за счет сейсмических вибраций.

Землетрясение породило поверхностные разрывы в зоне

\* Интенсивность сотрясений XI баллов по шкале Меркалли соответствует такой же интенсивности по шкале MSK-64.



Изосейсты Вэньчуаньского землетрясения 12 мая 2008 г.,  $M_s = 8$  (по данным национальных сил Китая немедленного реагирования). Красной точкой отмечен эпицентр главного толчка. Две области сотрясений силой XI баллов охватывают окрестности городов Инью и Вэньчуань.

общей длиной 300 км. При этом вдоль разлома Инью—Бэйчуань образовалась новая линия разрывов длиной 240 км. Другой вновь возникший разрыв, дли-

ной 72 км, прошел вдоль разлома Пен-Гуань [1—2].

После землетрясения образовался сейсмический уступ у городов Хонгкоу и Дуцзянзянь. Это



Уступ, возникший при Вэньчуаньском землетрясении 12 мая 2008 г. у городов Хонгкоу и Дуцзянзянь. Разлом Инью—Бэйчуань (справа) и плоскость скольжения на разломе (слева).

нарушение привело к тому, что на одной стороне дороги поднялась, а на другой опустилась. Здесь обнаружилось надвиговое смещение с правосторонней подвижкой. Измеренная величина горизонтального перемещения составила  $4.8 \pm 0.2$  м, вертикального —  $5 \pm 0.2$  м\*. По обнажившейся плоскости разлома видны борозды скольжения по взбросу с углом наклона  $75-80^\circ$ .

Катастрофические разрушения сконцентрированы в нескольких городах. Кроме г.Инью, серьезным разрушениям подвергся древний город Бэйчуань. Многие участки здесь оползли. Под оползневыми телами оказа-

\* По другим сведениям, максимальные смещения в результате землетрясения достигали 10 м в горизонтальной плоскости и 8 м — в вертикальной.



Город Бэйчуань с высоты птичьего полета до и после землетрясения. На нижнем снимке видны два оползня (в старом и новом центрах города), спровоцированные землетрясением (помечены стрелками).





Разрушенный землетрясением г.Инью (вверху) и руины зданий.



Сейсмический разрыв на поверхности по разлому Пен-Гуань рядом со средней школой.

лись тысячи людей. Подпруженное оз.Танцзишань на долгое время нависло над нижележащей долиной\*. Вдоль разлома Пен-Гуань разрыв произошел как раз на месте средней школы Байлу. По рассказам учеников, когда сейсмические волны достигли здания школы и она начала раскачиваться, выбежавшие наружу ребята не увидели никаких разрывов на поверхности. Но моментом позже земля разорвалась и внезапно вспучилась. По-видимому, этот случай отражает различие в скорости прихода сейсмической волны и деформаций поверхности.

\* Оползневые и другие гравитационные процессы на крутых склонах долин носили массовый характер. В результате на реках образовались завалы, а за ними накапливались водные массы. После проливных дождей, к 3 июня, вода стала переливаться через запруды. Власти и спасательные бригады предприняли экстренные меры для постепенного спуска воды, так что бедствий при возможных прорывах удалось избежать.

## Геологическая ситуация и очаговый разрыв

Как видно из расположения эпицентров, в центральной части материкового Китая имеется сейсмическая зона NS меридионального простираения. Землетрясение Вэньчуань произошло в середине этой сейсмической зоны на крупном элементе рельефа — хребте Лунмэньшань. Западнее располагается Цинхай-Тибетское нагорье с абсолютными высотами 4–5 тыс. м, а восточнее, на высоте 600 м над ур.м., лежит равнина Сычуань. Зона разлома Лунмэньшань по краю гряды наклонена к северо-западу, т.е. под нее. В тектоническом отношении северо-западное крыло разлома принадлежит блоку Байанкала в средней части Цинхай-Тибетского нагорья, а юго-восточное крыло находится в пределах Южно-Китайского блока. Эта зона разлома состоит из серии надвигов со складками. Вблизи эпицентра на всячем крыле породы представлены метаморфическими комплексами Пен-Гуань и Баоксинг протерозойского и палеозойского возраста, а у подножья разлома появляются осадочные породы триаса.

Лунмэньшаньская зона разлома служит границей блоков, так что в каждом из них конкретные структуры различны. На северо-западном крыле земная кора имеет толщину 52 км, обнаруживая систему сложных складок вблизи поверхности и высокоскоростные структуры на глубине 14–20 км\*. В более низких частях коры, на глубине 26–38 км, среда ослабленная и достаточно деформируемая. Она может служить зоной срыва внутри коры [3–5]. На юго-восточной стороне, под равниной

\* Взброс в северо-западной части хребта Лунмэньшань, с которым связывают возникновение главного толчка Вэньчуаньского землетрясения, круто наклонен к северо-западу, проникая в верхнюю кору до глубины 10–15 км. Очаг землетрясения по другим данным определяют на глубине около 28 км.

Сычуань, земная кора обладает относительно простой трехслойной структурой. Граница Мохо на глубине 46 км наклонена к западу. И на глубине там не было обнаружено низкоскоростного слоя, что свидетельствует об относительно жестком субстрате. Такая структурная картина, а именно низкие скорости на северо-западной стороне и высокие на юго-восточной, сохраняется вниз до глубин 100–150 км [4, 5].

Инверсионный метод анализа записей сейсмических волн показал, что сейсмический разрыв в очаге начался в обоих направлениях и продолжался 90 с. Он распространялся относительно медленно и на короткую дистанцию к юго-западу и гораздо дальше и быстрее на северо-восток. Соответственно, эпицентры афтершоков смещались главным образом к северо-востоку от эпицентра главного толчка. Решение фокального механизма главного толчка обнаруживает взбросовую подвижку с правосторонним смещением, и при афтершоках величина общего правостороннего смещения увеличивалась по мере того, как они мигрировали к северо-востоку [6].

GPS-измерения показали, что два крыла сейсмогенного разлома двигались в противоположных направлениях, и гряда Лунмэньшань, судя по разрывам грунта, поднялась на 9–10 м, тогда как равнина Сычуань опустилась. Земная поверхность испытала сокращение поперек разлома на 11 м.

## Эксперименты и ретроспективный анализ

В целом Вэньчуаньское землетрясение с  $M = 8$ , несомненно, явилось событием, которого ждали.

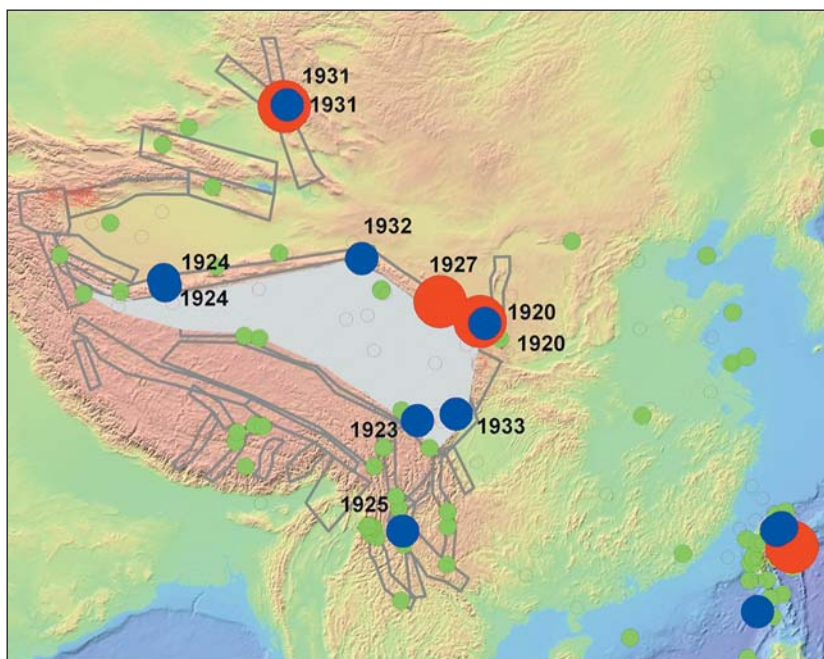
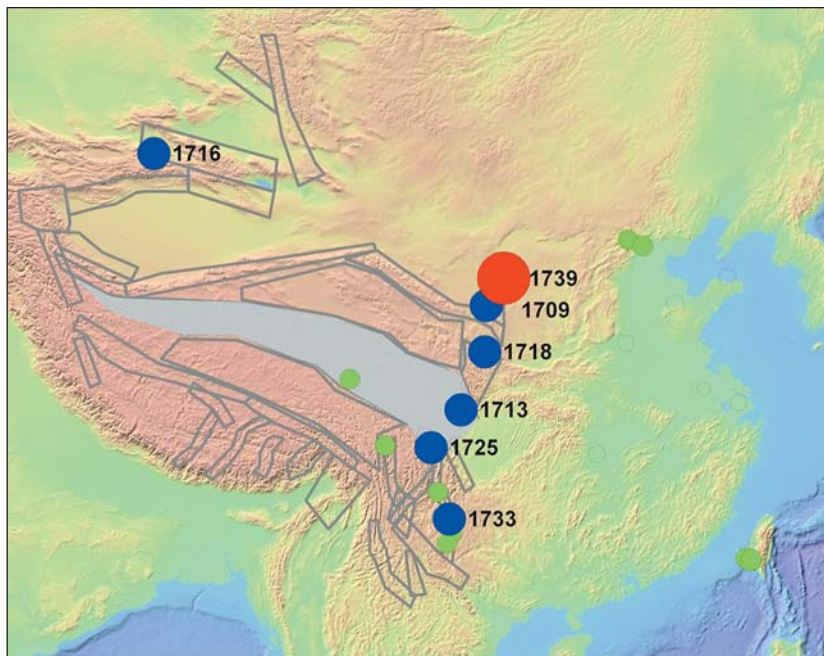
Исторические сведения указывают, что спустя один-два года после каждого мощного землетрясения в Индонезии, на территории материкового Китая

возникали сильные землетрясения. Примерно половина из них происходила в NS-сейсмической зоне [7]. С начала 2005 г. сотрудники Государственного сейсмологического бюро КНР выделили в южном и среднем сегментах разлома Лунмэньшань в NS-сейсмической зоне область Ганзи-Аба как одну из заслуживающих специального мониторинга в последующие 15 лет. Министерство финансов Китая выделило для этого особые средства поддержки.

При анализе данных об исторических землетрясениях в Китае обнаруживается, что мощные землетрясения часто возникают группами. Это так называемые рои (кластеры) землетрясений, происходящие в относительно короткий период времени. Локализуются они на относительно небольшом расстоянии друг от друга.

В Западном Китае выделяется 21 кластер событий с магнитудой  $\geq 7$  за период 193 г. до н.э. — 1991 г. н.э., и в Восточном Китае — 23 кластера с магнитудой  $\geq 6$  с 777 до 1991 г. По статистике, в материковом Китае около 87% входящих в рои землетрясений ассоциируются с активными разломами вдоль границ блоков, и почти половина событий возникает внутри отдельных тектонических блоков, иногда с переходом на соседние блоки. Это позволяет предполагать, что землетрясения одного роя обычно имеют общие предпосылки (условия) возникновения [8].

Сейсмическая ситуация 2008 г. очень сходна с двумя периодами роев землетрясений в истории Китая, когда события с  $M \geq 7$  происходили в области Лунмэньшань в 1733 и 1933 гг. Первый период длился с 1709 по 1739 г. Тогда в NS-сейсмической зоне случилось одно землетрясение с  $M \geq 8$ , пять — с  $M \geq 7$  и несколько с  $M \geq 6$ . В этом временном интервале в других районах материкового Китая (если отвлечься от Тянь-Шаня) не было отмечено никаких зем-



Рои сильных землетрясений в периоды 1709—1739 (вверху) и 1920—1933 гг. Серым цветом показан блок Байанкала в 1709—1739 гг. и обобщенный блок, включающий Байанкала и Квайдан-Квилян в 1920—1933 гг. соответственно.

летрясений с  $M \geq 7$ . Второй период длился с 1920 по 1933 г. и включал два события с  $M \geq 8$  и шесть с  $M \geq 7^*$ . При этом они происходили в зоне контакта блоков Байанкала и Квайдан-Квилян

Квилян в северной части зоны. Одно землетрясение с  $M = 8$  возникло в зоне разлома Кекетуохай-Эртай в северной части провинции Синьцзян. В других же районах материкового Китая землетрясения с  $M \geq 7$  не отмечались.

\* При землетрясении 1933 г. с  $M = 7.5$  погибло 9,5 тыс. человек.

Перед Вэньчуаньским землетрясением 12 мая 2008 г. в 1996—2007 гг. в западном блоке Байанкала произошло шесть землетрясений с  $M \geq 7$  (одно из них с  $M = 8$ ). В Тибете в округе Гайцзе в январе 2008 г. отмечалось событие с  $M = 7.1$ , а в Ютиане (провинция Синьцзян) в марте 2008 г. — с  $M = 7.4^{**}$ .

При сравнении землетрясений в 1920—1933 и 1996—2008 гг. обнаруживаются поразительные аналогии. Все они возникали на границах блоков. В первый период эпицентры располагались в зоне контакта блоков Байанкала и Квайдан-Квилян; во второй период — вдоль блока Байанкала или на контакте блоков Байанкала и Квиантан. Таким образом, в обоих случаях был захвачен блок Байанкала. Вместе с тем землетрясения Фуюнское ( $M = 8$ , 1931 г.) и Чуйское ( $M = 7.5$ , 2003 г.) связывают с разломом Кекетуохай ССЗ простирающимся у китайско-монгольской границы\*\*\*. Оба землетрясения соотносились с одним и тем же сейсмогенерирующим разломом, имели близкие эпицентры и связаны с правосторонним смещением по разлому [9]. Отмеченные положения дали возможность проследить тренд событий.

В начале 2008 г. один из авторов этой статьи заметил, что GPS-измерения в 2001—2004 гг. отмечали относительно большую скорость деформаций в западной части блока Байанкала, и величина расширения там больше, чем величина сжатия. Такая ситуация сохранялась в 2004—2007 гг., в то время как деформации в других регионах

\*\* От последнего землетрясения в Хотане пострадало 100 тыс. человек, ущерб составил 16 млн долл.

\*\*\* Землетрясение 1931 г. с  $M = 8$  связывают с разломом, в отечественной литературе называемым фуюнским. Оно ощущалось далеко к северо-западу в пределах СССР. Алтайское (Чуйское) землетрясение 2003 г. с  $M = 7.5$  соотносят с другим, более северным, кулисно расположенным разломом в пределах Русского Алтая.

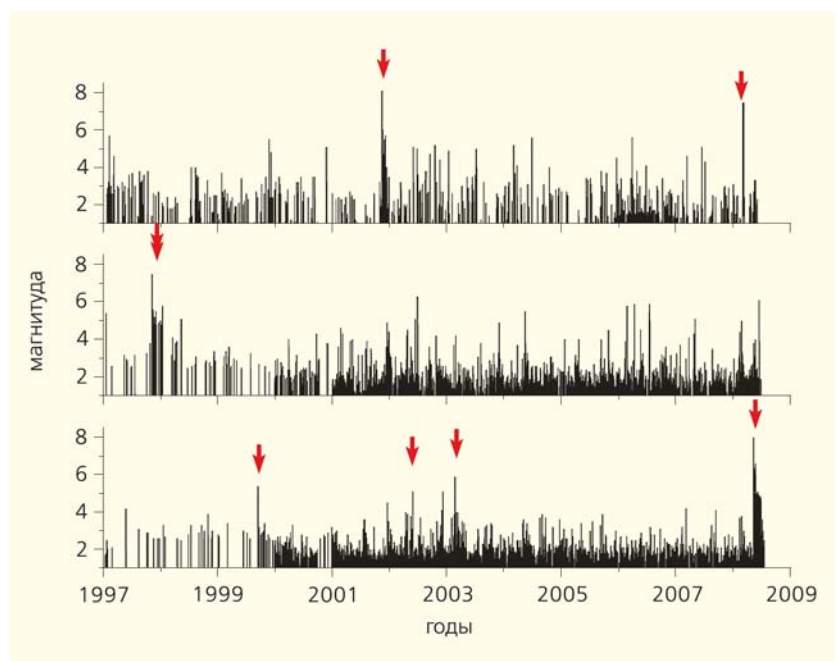
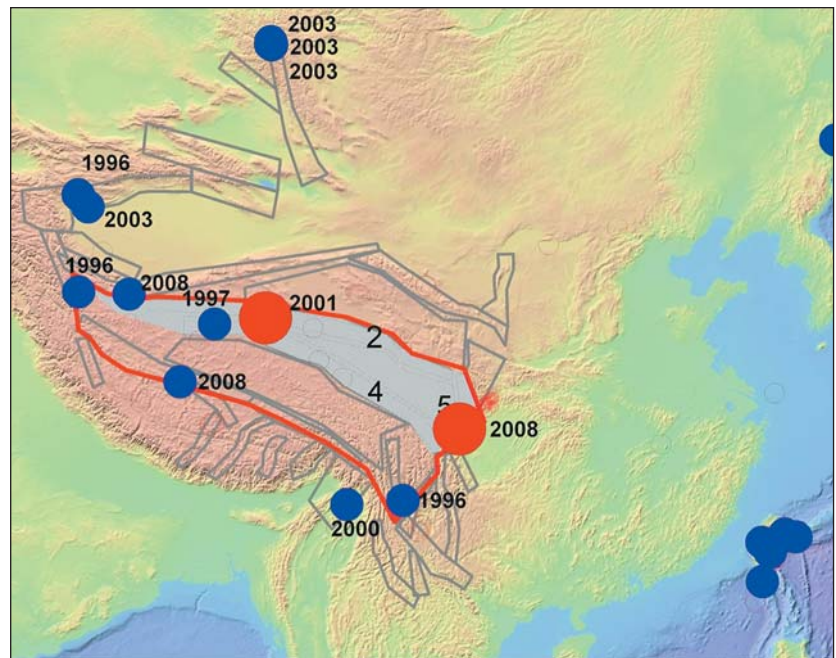
стали меньше. Это могло указывать на локализацию поля деформаций на континенте, что в свою очередь побуждало уделить большее внимание сейсмической опасности в пределах блока Байанкала.

Мы изучили влияние землетрясения с  $M = 9$  в Индонезии в 2004 г. на поле деформаций в материковом Китае с точки зрения вариаций геотермального поля. Рассматривая данные по температуре поверхности Земли (ТПЗ), полученные при наблюдениях со спутника\*, мы заметили, что годовые вариации температуры на разломе Ксианшуйхэ (западнее Лунмэньшань) в 2005 г. существенно изменились.

Инкремент ТПЗ, который был получен путем исключения из данных годовых вариаций и высокочастотных компонентов, показал, что область Байанкала испытала наибольшее понижение температуры по сравнению с другими регионами. Лабораторный эксперимент подтвердил, что такое падение температуры горных пород связано с их объемной деформацией, т.е. температура возрастает при сокращении объема и падает при расширении [10]. Таким образом, можно предполагать, что под влиянием землетрясения в Индонезии в 2004 г. блок Байанкала в Среднем Тибете подвергался кратковременному растяжению или релаксации напряжений.

Следующий вопрос заключался в выяснении соотношения релаксации напряжений с нестабильностью («раскачкой») разлома. Последняя обычно принимается в качестве причины землетрясений. В эксперименте с использованием контроля двойного источника мы обнаружили, что нормальное нагружение может привести к нестабильности разлома. В начале

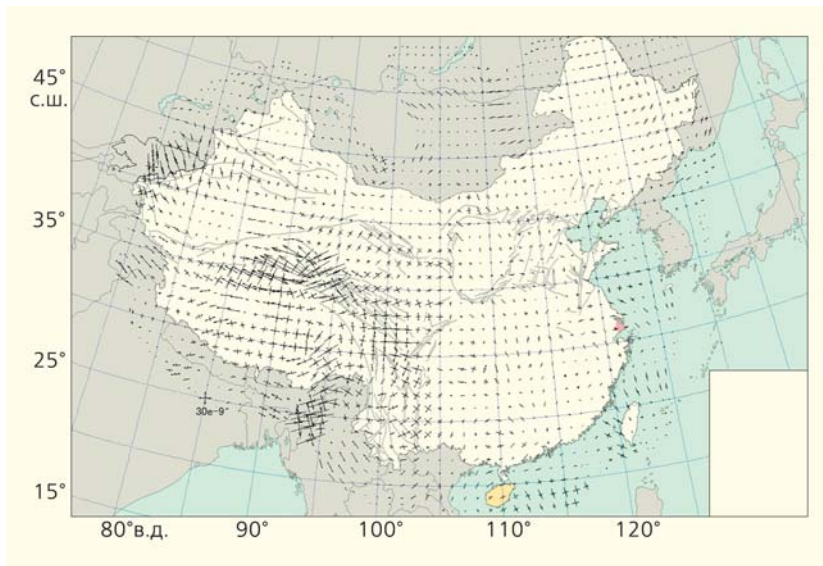
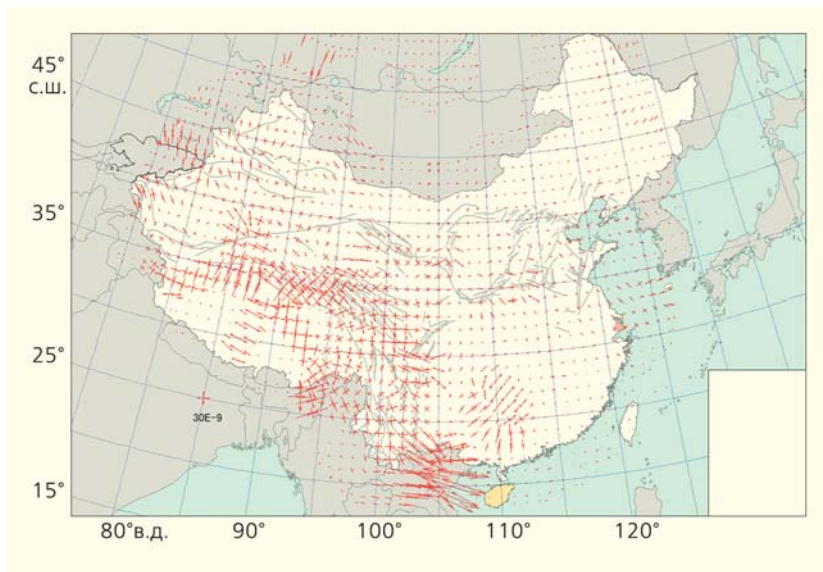
\* Данные (V004) обеспечены группой изучения температуры поверхности Земли MODIS Института расчетов земных структур (ICESS), Университет Калифорнии, Санта Барбара.



Землетрясения за период 1996 — конец мая 2008 г. (вверху) и график распределения землетрясений по магнитудам на разломах вокруг блока Байанкала в средней части Цинхай-Тибетского нагорья. Серым цветом показан блок Байанкала; область внутри красной линии ограничивает блоки Байанкала и Квиантан. На верхнем рисунке показано положение разломов Куньлунь (2), Мани-Ксиангшуйхе-Юису (4), Мин-Шань-Лунмэньшань (5).

эксперимента нагрузка прилагалась с фиксированной скоростью в вертикальном направлении, и сжатие в горизонтальном сохранилось постоянным. После

того как сжатие достигло определенного уровня, на разрыве в образце горной породы стали заметны явления проскальзывания. В какой-то момент амплиту-



Поле деформаций в материковой части Китая, определенное по измерениям GPS в 2001—2004 гг. (вверху) и 2004—2007 гг. Красные и черные отрезки обозначают оси расширения и сжатия соответственно.

да сброса напряжений резко увеличилась, между тем как в горизонтальном направлении появились очень мелкие нарушения [11, 12]. Все крупные импульсы нестабильности возникли в то время, когда давление в горизонтальном направлении было минимальным (а растяжение — максимальным). Это показывает, что внезапное расширение может спровоцировать нестабильность значительно более значимую, чем возрастающее давле-

ние. Отсюда следует вывод, что внезапное расширение (или релаксация) в коре, в области высокого напряжения, способно индуцировать нестабильность разлома. Такое заключение может объяснить то, что землетрясения с  $M = 7$  в январе и марте 2008 г. произошли в западной части блока Байанкала, где падение температуры было максимальным.

Блок Байанкала ограничен разломами Куньлунь, Мани-Кси-

янгшуйхе-Юшу и Минг Шань-Лунмэньшань. На разломе Мани-Ксиангшуйхе-Юшу в 1992 г. возникло землетрясение с  $M = 7.6$ . Разлом Куньлунь вспоролся в 2001 г. при событии с  $M = 8.1$ . В близкие годы сейсмичность на разломе Лунмэньшань была относительно низкой, только в 1999 и 2003 гг. возникали толчки с  $M = 5$ .

С 2004 г. мы ожидали, что крупное землетрясение может случиться в NS-сейсмической зоне. Однако на территории материкового Китая сейсмичность ослабевала. Например, в 2005 г. произошло только одно землетрясение с  $M = 6.5$  в Западном Тянь-Шане и одно — в Южном Тибете, между тем как другие регионы оставались спокойными. Такая ситуация продолжалась до мая 2007 г., когда несколько событий с  $M = 6$  произошли в Тибете, провинциях Юннань и Синьцзян. В последующие 172 дня на всем пространстве материкового Китая не фиксировались толчки с  $M \geq 5$ . Это было интерпретировано так, что событие 2004 г. в Индонезии с  $M = 9$  способствовало релаксации накопленных напряжений в земной коре континентального Китая\*. Однако два землетрясения с  $M = 7$  обрушились на Западный Китай в январе и марте 2008 г., вскоре после них последовало майское событие Вэньчунань с  $M = 8$ , нарушившее кажущееся сейсмическое молчание.

Большое число активных разломов известно во всем Западном Китае. Скорости смещений по ним в особенности высоки на Цинхай-Тибетском нагорье. Например, на разломах Куньлунь и Ксианшуйхэ они составляют 13 и 10 мм/год соответственно. Между тем скорость перемещения по разлому Лунмэньшань находится в пределах 2—3 мм/год, что обычно соот-

\* Если использовать такой прогностический признак, как сейсмическое затишье, то отсутствие землетрясений в рассматриваемой области в течение полугодия можно истолковать и как опасное предзнаменование.

носили с низким сейсмическим риском\*.

Эксперимент, осуществленный в нашей лаборатории, показал, что разлом, ориентированный к главной оси сжимающих напряжений под углом около 30°, имеет небольшие нормальные напряжения и заметную величину смещений, в то время как разломы под углом более 45° относительно главных сжимающих напряжений характеризуются большим нормальным напряжением сжатия и меньшими смещениями. На каждые два-три случая неустойчивости на разломах первого типа приходится примерно один случай неустойчивости на разломах второго типа, причем в реальном ходе эксперимента они чередуются [13]. Хотя смещение вдоль разломов второго типа невелико, они могут вы-

свободить большую энергию деформации, поскольку уровень напряжений здесь высок и велико его падение при землетрясении. Это экспериментально полученное свидетельство помогает понять, почему разлом Лунмэншань (для которого характерна низкая скорость смещений) оказался способным генерировать землетрясения столь высокой магнитуды.

Статистический анализ, основанный на исторических данных, установил, что после события в Индонезии территория материкового Китая может подвергнуться мощным землетрясениям\*\*. При этом около половины, скорее всего, произойдет в NS-сейсмической зоне. Два сейсмических события с  $M = 7$ , которые случились в Западном Китае в январе и марте 2008 г., по-видимому, и были теми, что ожидалось исследователями (по счастью, они возникли в малонаселенных районах). Непредвиденным оказалось то, что примерно месяц и несколько дней спустя столь высокомагнитудное событие «взорвет» сред-

нюю часть NS-сейсмической зоны без каких-либо предварительных кратковременных сигналов об опасности.

\* \* \*

Таким образом, сложность структуры земной коры, гетерогенное поле напряжений в Земле и недоступность зоны разлома на глубине для прямых измерений создают проблемы, требующие дальнейших тщательных исследований, поскольку при попытках борьбы с сейсмическими опасностями мы сталкиваемся с неординарными явлениями. Следует усовершенствовать наблюдения над процессами пространственно-временных изменений в полях напряжений и деформаций. Прежде всего необходимо выделять области с точки зрения возможности землетрясений в фиксированный период времени. И, конечно, нужна рабочая модель, чтобы комплексно анализировать процессы деформации. Мы признаем ответственность научных работников в области изучения землетрясений велика и путь исследований долог, требуются непрекращающиеся попытки для того, чтобы добиться прогресса и прорыва на этом пути. ■

© Вступление и перевод с английского А.А.Никонова

\* Измерения в сети GPS на границе Индийской и Евразийской плит обнаружили горизонтальные смещения со скоростью до 28–34 мм/год. Между тем сжатие поперек лунмэншаньского хребта <2 мм/год. Эти данные были интерпретированы (ошибочно, как сейчас признается) в качестве показателя неактивности местной зоны разломов. Ныне малые величины скорости смещений в регионе объясняют наличием главным образом крутопадающих разломов со взбросовой составляющей, которая не улавливается при измерении горизонтальной компоненты.

\*\* В КНР наблюдения за кратковременными предвестниками разного характера проводятся широко и тщательно. Отсутствие в данном случае кратковременных предвестников — сравнительно редкий случай, нуждающийся в специальном рассмотрении.

Исследование поддержано Национальным фондом естественных наук Китая. Грант 40572125.

## Литература

1. Xu Xi-wei, Wen Xue-ze, Ye Jian-qing, et al. // *Seismology & Geology*. 2008. V.30. №3. P.597–629 (in Chinese).
2. Ran Y.K., Chen L.C., Chen G.H. et al. // *Seismology & Geology*. 2008. V.30. №3. P.630–643 (in Chinese).
3. Wang C. Y., Lou H., Lu Z. Y. et al. // *Science in China. Ser. D*. 2008. V.38. №1. P.22–32.
4. Burchfiel B.C., Royden L.H., Hilst R.D. van der et al. // *GSA Today*. 2008. V.18. №7. P.4–11.
5. Li C., Hilst R.D. van der, Engdabl E.R., Burdick S. // *Geosyst*. 2008. V.9. №5. P.1–21.
6. Wang Wei-min et al. // *Chinese Journal of Geophysics* 2008. V.51. №5. P.1403–1410 (in Chinese).
7. Zhang Guomin, Zhang Xiaodong, Dliu Jie // *Earthquake*. 2005. V.25. №4. P.15–25 (in Chinese).
8. Fan J.X. Ma J., Diao G.L. et al. // *Acta Seismologica Sinica*. 2001. V.23. №5. P.514–522.
9. Lunina O.V., Gladkov A.S., Novikov I.S. et al. // *Tectonophysics*. 2008. V.453. P.276–294.
10. Liu P.X., Ma J., Liu L.Q. et al. // *Progress in Natural Science*. V.17. №3. P.298–304.
11. Cui Y.Q., Ma S.L., Liu L.Q. // *Seismology & Geology*. 2005. V.27. №4. P.645–652.
12. Никонов А.А. // *Физика Земли*. 2005. №1. С.36–50.
13. Ма Цзинь и др. Экспериментальное изучение поочередных подвижек пересекающихся разрывов и движений блоков // М.В.Гзовский и развитие тектонофизики. М., 2000. С.207–219.



# История отечественной двухступенчатой водородной бомбы и научная этика

Г.А.Гончаров,

доктор физико-математических наук

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики  
Саров

## Было ли открытие «третьей идеи» самостоятельным?

Горелик утверждает: «Об авторстве Первой и Второй идей Сахаров писал с полной уверенностью, и это авторство никто не ставит под сомнение. Иначе обстоит с Третьей идеей. Рассказ Сахарова о ней озадачивает некой избыточной неопределенностью, и Л.П.Феокистов, советский термоядерный ветеран, участник разработки этой идеи, открыто усомнился в ее отечественном происхождении [5]. К 50-летию испытания Третьей идеи это сомнение усилил до уверенности другой ветеран, Г.А.Гончаров, в своей статье «Необычайный по красоте физический принцип конструирования термоядерных зарядов» [1].

Это заключение Горелика совершенно не соответствует моим убеждениям. В моей статье [1] четко и определенно говорится: «Все известные документальные данные свидетельствуют о том, что открытие отечественного аналога конфигурации Теллера—Улама было сделано советскими учеными самостоятельно — разведка не снабдила советских ученых конфигурацией Теллера—Улама» (открытой в США в 1951 г.). Утверждение Горелика основано на том, что мы говорим на разных языках, используем различную расшифровку понятия «Третья идея». Согласно Горелику, «Андрей Дмитриевич Сахаров в своих «Воспоминаниях», написанных в 80-е годы — в условиях тогдашней советской секретности, — назвал основной принцип этой конструкции (конструкции двухступенчатого заряда РДС-37. — Г.Г.) Третьей идеей». Таким образом, под Третьей идеей Горелик понимает принцип радиационного обжатия. Автор же под Третьей идеей понимает концепцию конструирования двухступенчатого термоядерного заряда с использованием радиационного обжатия — совокупность физических и технических решений, закла-

дываемых в конструкцию двухступенчатого термоядерного заряда. Такое понимание соответствует высказываниям Теллера в его «Комментариях к истории термоядерной программы Бете», написанных в августе 1952 г. [14]. Теллер писал в «Комментариях»: «Радиационное обжатие является важным, но не уникальным (единственным) элементом в конструировании термоядерных бомб. Основной принцип радиационного обжатия был открыт в связи с термоядерной программой и излагался на конференции по термоядерным бомбам весной 1946 г. Доктор Бете не присутствовал на этой конференции, а доктор Фукс участвовал в ее работе». Из ряда публикаций можно заключить, что проект «трубы» с двухступенчатым инициатором, работающим на предложенном в 1946 г. Фуком принципе радиационного обжатия, составил содержание патента Фукса—фон Неймана (май 1946 г.). Схема двухступенчатого инициатора для «трубы» была важным шагом на пути к двухступенчатой водородной бомбе на принципе радиационного обжатия, но сама по себе не являлась решением проблемы ее создания. В США потребовалось целых пять лет для перехода от схемы Фукса—фон Неймана к концепции конструирования водородной бомбы Теллера—Улама. Поэтому нельзя ставить знак равенства между идеей радиационного обжатия и «третьей идеей».

Мое понимание соответствует и описанию Сахаровым истории открытия «третьей идеи». Выше уже приводилась цитата из «Воспоминаний» Сахарова: «В некоторой форме, скорей в качестве пожелания, “третья идея” обсуждалась и раньше, но в 1954 году пожелания превратились в реальную возможность». Так вот, до первых месяцев 1954 г. возможность радиационного обжатия у нас не была осознана и в явном виде никогда и никем не обсуждалась — предлагались и обсуждались другие представлявшиеся возможными пути и схемы осуществления атомного обжатия, работоспособность и эффективность которых, однако, вызывали большие сомнения. Это и позво-

Окончание. Начало см. в №4.

© Гончаров Г.А., 2009

лило Сахарову охарактеризовать их как пожелания. Так что и Андрей Дмитриевич под «третьей идеей» понимал концепцию конструирования двухступенчатого термоядерного заряда, а не собственно радиационное обжигание. Идея радиационного обжигания содержалась в материале, переданном в марте 1948 г. Фуксом по каналам разведки для СССР, а концепция конструирования двухступенчатого термоядерного заряда с использованием этой идеи была открыта весной 1954 г. советскими учеными самостоятельно.

### Можно ли говорить о двух версиях событий? И приближает ли нас статья Горелика к «исторической истине»?

«По версии Гончарова, — пишет Горелик, — поворот в советском термоядерном проекте произошел под воздействием американского испытания 1 марта 1954 г., мощность которого в десятки раз превысила предел тогдашней советской конструкции...». «Моя версия поворота совершенно иная. В ней американское испытание 1 марта 1954 г. не сыграло никакой роли. А подлинным рубежом стал двойной тупик: признание бесперспективности “Трубы” и невозможность существенно усовершенствовать “Слойку”...».

Обратимся к тексту моей статьи: «Необходимо отметить, что сложившаяся к этому времени обстановка (ко времени открытия “третьей идеи”. — Г.Г.) была, по существу, чрезвычайной. 17 февраля 1954 г. председатель Объединенного комитета по атомной энергии конгресса США С.Коул публично выступил с сенсационным заявлением. Он сообщил о грандиозном разрушительном эффекте взрыва “Mike”, проведенного 1 ноября 1952 г., и том, что США имеют в своем распоряжении еще более мощную водородную бомбу. А 1 марта 1954 г. США провели взрыв “Bravo”, который вызвал тяжелое радиационное поражение членов команды японского рыболовного судна “Счастливого дракона”, находившегося на большом расстоянии от взрыва, и буквально потряс мир. А в СССР в это время не было предложений по конструкции водородной бомбы большой мощности, работоспособность и эффективность которой не вызывала бы сомнений. Разработка “трубы” была признана бесперспективной и исключена

из планов КБ-11 на 1954 г. А результаты работ по форсированной одноступенчатой “слойке”, которые проводились согласно принятому в ноябре 1953 г. специальному постановлению правительства, свидетельствовали об ограниченных возможностях этого направления и все более убеждали в их тупиковом характере. Ученые КБ-11 не могли в такой обстановке не предпринять чрезвычайных усилий в поисках эффективного пути конструирования водородных бомб. И эти усилия увенчались успехом» [1].

Из цитированного текста следует, что, по мнению автора этих строк, открытие «третьей идеи» было стимулировано чрезвычайной обстановкой, вызванной совокупностью обстоятельств. Но Горелик среди отмеченных мною моментов, под воздействием которых произошел поворот в советском термоядерном проекте, захотел увидеть и представил как мою версию только одно обстоятельство — американское испытание «Браво» (при этом в целом ряде мест своей статьи Горелик подчеркивает переоценку мною роли «Браво»). Другой же отмеченный в моем тексте существенный момент — двойной тупик: тупик в работах по «трубе» и одноступенчатой «слойке» он выдал за собственную версию. О каких двух версиях событий и о какой научной этике можно после этого говорить?

Горелик пишет: «Гончаров мог бы существенно укрепить свою версию (и пошатнуть мою), если бы нашел документальные подтверждения, что весной 1954 г. в руководстве советского ядерного проекта осознавали масштаб мощности американского испытания “Браво”. Но документальное подтверждение этого факта было приведено в моей работе «Термоядерный проект СССР...» [13], и ссылки на нее имеются в статье [1] (ссылка на публикацию [13] есть и в статье Горелика). Причем из цитированных документов следует, что факт огромного уровня мощности водородных бомб, достигнутого Соединенными Штатами, осознавали тогда не только руководители советского атомного проекта, но и первое лицо государства.

Выступая на собрании избирателей 12 марта 1954 г. в связи с выборами в Верховный Совет СССР, председатель СМ СССР Г.М.Маленков заявил:

«Советское правительство стоит за дальнейшее ослабление международной напряженности, за прочный и длительный



Андрей Дмитриевич Сахаров. В 1948 г. предложил конструкцию бомбы с чередующимися слоями урана-238 и дейтерия («слойка»). Соавтор (вместе с Я.Б.Зельдовичем) концепции конструирования двухступенчатой водородной бомбы РДС-37.

мир, решительно выступает против политики холодной войны, ибо эта политика есть политика подготовки новой мировой войны, которая при современных средствах войны означает гибель мировой цивилизации».

А за несколько дней до этого выступления, 5 марта 1954 г., Маленков подписал распоряжение СМ СССР о заборе радиоактивных проб воздуха от ядерных испытаний, начатых США взрывом «Браво» 1 марта 1954 г. Проект распоряжения был направлен Маленкову с сопроводительным письмом, подписанным Н.А.Булганиным и Малышевым. На письме имеется виза И.К.Кикоина [15. Л.10—13].

Вероятно, разделяя (и, возможно, желая или имея поручение обосновать) точку зрения, высказанную в выступлении Маленкова, 1 апреля 1954 г. к Хрущеву обратился Малышев:

«Посылаю Вам проект статьи «Опасности атомной войны и предложение президента Эйзенхауэра», подготовленный мной совместно с академиками тт. Курчатовым И.В., Алихановым А.И., Кикоиным И.К. и Виноградовым А.П.

Статью могли бы подписать академики Несмеянов, Иоффе, Скобельцын и Опарин. Эти ученые хорошо известны за границей и с нашей тематикой не связаны.

Проект статьи послан мной товарищам Маленкову Г.М. и Молотову В.М.».

В проекте статьи, на опубликование которой Хрущев не дал согласия и которая в результате тогда так и не была напечатана, содержались следующие утверждения:

«В марте месяце этого года правительство США уже дважды оповестило мир о взрыве водородных бомб.

Отклики на это последнее известие свидетельствуют о том, что мировое общественное мнение озабочено мрачными перспективами, которые сулит все возрастающая мощь атомного вооружения.

Такая озабоченность вполне понятна.

Современная атомная техника, основанная на использовании термоядерной реакции, позволяет практически неограниченно увеличивать взрывную энергию, сосредоточенную в бомбе.

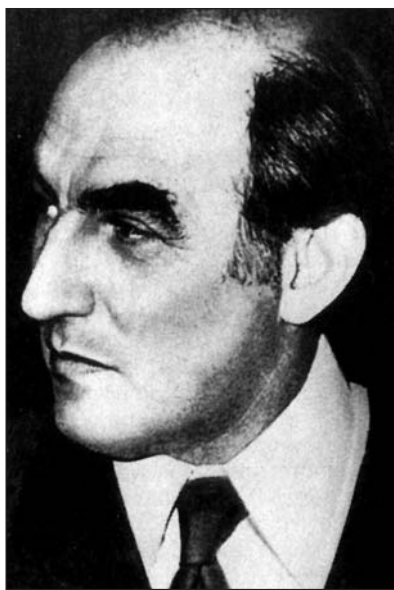
Уже сейчас разрушительная сила водородной бомбы вполне сравнима с самыми разрушительными действиями природы, вроде крупных землетрясений, извержений вулканов, падений крупнейших метеоритов типа знаменитого Тунгусского метеорита т.д.

Если энергия взрыва обычной атомной бомбы эквивалентна энергии взрыва десятков тысяч тонн тротила, то энергия бомбы с термоядерной реакцией достигает уже многих миллионов тонн и одна такая бомба может разрушить все жилые дома и постройки в радиусе 10—15 км, т.е. уничтожить все наземные сооружения города с много-миллионным населением».

Таким образом, в проекте статьи отмечен не только огромный уже достигнутый уровень мощности водородных бомб, но и возможность практически неограниченно увеличивать их взрывную энергию.

Из контекста письма следовало, что содержащиеся в нем утверждения в равной мере относятся как к американским, так и к советским возможностям того времени. Но ведь проект статьи был написан в марте 1954 г., когда ученые СССР еще только находились на пороге открытия эффективных способов создания водородных бомб большой мощности, тем более неограниченной мощности. И проект, подготовленный с участием Курчатова, был направлен атомным министром высшим должностным лицам страны. И хотя Харитон не участвовал в подготовке проекта статьи, трудно себе представить, что Курчатов не информировал его об этом. Ведь проект содержал утверждение технического характера: «Современная атомная техника, основанная на использовании термоядерной реакции, позволяет практически неограниченно увеличивать взрывную энергию, сосредоточенную в бомбе». Мимо Харитона, научного руководителя и главного конструктора КБ-11, не могли пройти и опубликованные за рубежом сведения о выступлении Коула и испытании «Браво».

Скорее всего, в курсе были и Зельдович, и Сахаров — ведь постановлением СМ СССР от 20 ноября 1953 г. «О разработке нового типа мощной РДС» он был официально назначен, как уже говорилось, научным руководителем работ по ее созданию. Отметим, что такого рода сведения включались в совершенно секретные сводки ТАСС, которые рассылались по списку высшим должностным лицам и для ознакомления с ними рядовых сотрудников не предназначались. Примером служит уже упоминавшийся выпуск «Вестника иностранной служебной информации ТАСС» от 26 января 1953 г. с переводом статьи из журнала «U.S. News & World Reports». Другой пример — «Вестник иностранной служебной информации ТАСС»



Виталий Лазаревич Гинзбург. В конце 1948 г. — начале 1949 г. предложил в качестве термоядерного горючего в «слойке» дейтерид лития.

от 7 мая 1953 г., №654, содержащий перевод статьи У.Лоуренса «Насколько страшна водородная бомба?», опубликованной в журнале «Look» от 21 апреля 1953 г. Этот выпуск «Вестника» также имел гриф «совершенно секретно», был отпечатан в 31 экземпляре, а список его рассылки начинался с Маленкова и Берии [11. С.634—640]. Поэтому в моей статье при описании обстановки первых месяцев 1954 г. и нет ссылок на воспоминания коллег и на личные воспоминания, касающиеся этой обстановки.

Более чрезвычайную обстановку трудно себе представить. Требовались безотлагательные действия и концентрация усилий теоретиков, и прежде всего самих руководителей теоретических секторов КБ-11 — Зельдовича и Сахарова, информированных об описанных выше событиях и осознававших тупик в поисках эффективного пути конструирования мощных водородных бомб. Напряженные размышления, осмысление всей имевшейся информации и накопленного опыта привели к цели: весной 1954 г. были сформулированы основные черты новой концепции конструирования термоядерного оружия.

Изложенное не оставляет места для рассуждений Горелика, будто американское испытание «Браво» не сыграло никакой роли в повороте, произошедшем в 1954 г. в советском термоядерном проекте.

Коснемся теперь его высказываний о роли материалов Фукса для работ над советской водородной бомбой.

Обсуждая мою статью [1], Горелик видит в ней несколько, по его мнению, ключевых утверждений, первое из которых формулирует так:

«Разведдоклад Клауса Фукса, поступивший в СССР весной 1948 г., содержал идею использовать излучение от атомного взрыва для обжаривания термоядерного заряда; эта идея, названная в США «радиационным обжариванием», лежит в основе также и советской Третьей идеи». Далее он пишет: «Первое утверждение Гончарова, несмотря на отсутствие американских откликов, можно считать документально обоснованным. Еще убедительнее Гончаров обосновал важную организационную роль разведдоклада Фукса 1948 г. «в целом» — именно благодаря ему к советскому термоядерному проекту была подключена новая — ФИАНовская — группа теоретиков, включавшая будущих «отцов» первой термоядерной бомбы.



Юлий Борисович Харитон. С 1946 г. главный конструктор и с 1952 г. научный руководитель работ по созданию ядерного оружия.

Но совсем другой вопрос: сыграла ли сама идея радиационного обжаривания из разведдоклада Фукса важную роль в истории советской водородной бомбы? На этот вопрос Гончаров и я даем противоположные ответы.

И продолжает: «Вернемся теперь к раскрытому Гончаровым историческому факту, что разведдоклад Фукса 1948 г. содержал идею радиационного обжаривания. Хотя этот факт не нашел пока признания в стране, к которой он имеет прямое отношение, — в США, и хотя, на мой взгляд, идея Фукса не повлияла существенным образом на изобретение советской термоядерной бомбы, важность указанного факта несомненна».

Возражая Горелику, прежде всего отметим, что он почему-то игнорирует статью уже упоминавшегося выше известного американского историка Холлоуэя в журнале «Physics Today» [16], большая часть которой посвящена обсуждению моего доклада по истории водородной бомбы на конференции в Дубне (май 1996 г.) (содержание которого легло в основу статей в УФН и «Physics Today» [8, 9]). Холлоуэй безоговорочно признает, что представленная в моем докладе новая информация, включающая данные о содержании и роли переданных Фуксом материалов, проливает новый свет на историю советской водородной бомбы. О том же говорят авторы известных статей по истории водородной бомбы [17, 18], опубликованных в «Бюллетене ученых-атомщиков», Д.Хирш и В.Мэтьюз, называя доклад автора этих строк, сделанный на конференции в Дубне, экстраординарным. Можно ли говорить после этого об отсутствии откликов со стороны американцев на связанные с именем Фукса факты, изложенные и обсуждаемые в моих работах?

Что касается относительной сдержанности по поводу моего доклада, которую Горелик почувствовал на конференции в Ливерморе в 1997 г., то она была связана не с вопросом о роли Фукса, а с моим утверждением о самостоятельности открытия отечественного аналога концепции Теллера—Улама. Ряд американских участников конференции был априори убежден в том, что концепция Теллера—Улама прямо пришла в СССР по каналам разведки, и им было нелегко отказаться от своего мнения.

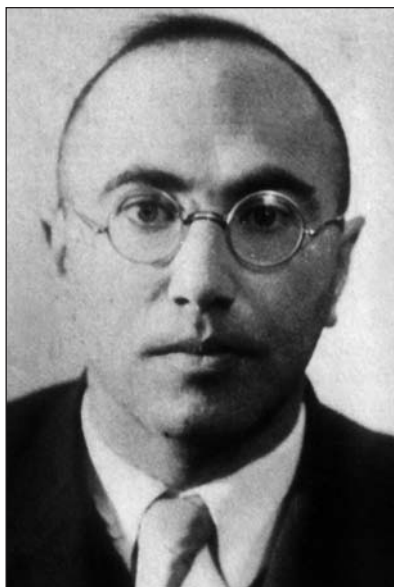
Отметим также, что мой взгляд на роль материалов Фукса сформулирован иначе, чем это представляет Горелик, а именно:

«Конкретное содержание информации К.Фукса также имело

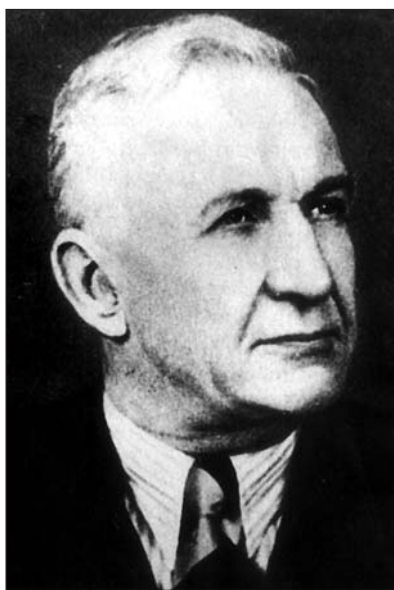
важное значение для наших работ (наряду с огромной ролью информации К.Фукса в организации работ — создание группы И.Е.Тамма явилось прямым следствием получения в 1948 г. материалов Фукса. — *Авт.*). Однако до открытия концепции конструирования высокоэффективной двухступенчатой водородной бомбы, которое было сделано советскими учеными самостоятельно, предстояло пройти длительный и трудный путь теоретических и экспериментальных исследований» [1].

Говоря о важном значении материалов Фукса для работ над водородной бомбой в СССР, я имел в виду поразительное богатство содержащихся в них идей (в числе которых были и идея радиационного обжигания, и идеи, заложенные в схему осуществления радиационного обжигания). Вся их совокупность не могла не оказывать влияния на отечественные работы над водородной бомбой. Важность и новизну сведений в материалах Фукса отметили Ванников, Курчатов и Харитон уже в своих заключениях на эти материалы, датированных маем 1948 г. Ванников и Курчатов писали, что материалы Фукса «представляют ценность в том отношении, что помогут т. Зельдовичу в его работах по сверхбомбе...». А Харитон отметил, что в этих материалах «имеется ряд не вполне еще ясных, но физически важных замечаний, касающихся механизма инициирования, например о прозрачном для излучения наполнителе и о непрозрачной его оболочке...» [10. С.433—440].

Мое утверждение, что конкретное содержание информации Фукса также имело важное значение для наших работ, подтверждается написанным Зельдовичем и Сахаровым «Введением» к сводному теоретическому отчету по заряду РДС-37 [1]. В нем говорится, что «принцип окружения (так условно в то время называлась концепция конструирования двухступенчатого термоядерного заряда с использованием радиационного обжигания. — *Г.Г.*) разрабатывался в теоретических секторах начи-



Яков Борисович Зельдович — соавтор (вместе с А.Д.Сахаровым) концепции конструирования двухступенчатой водородной бомбы РДС-37.



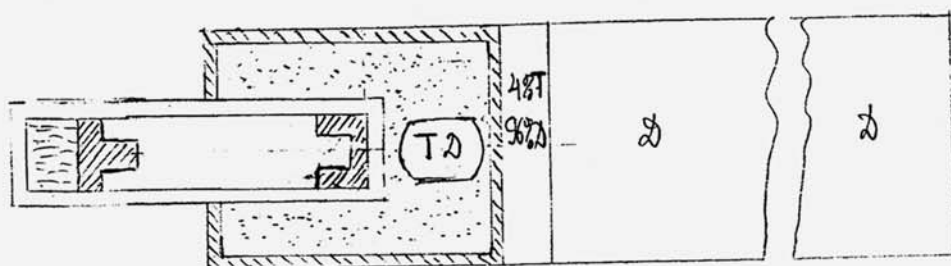
Игорь Евгеньевич Тамм. С 1950 г. руководитель расчетно-теоретических работ по «слодке».

ная с 1950 г.». А из имеющихся документальных данных следует, что единственной двухступенчатой схемой, рассматривавшей в 1950 г. теоретиками КБ-11, была схема двухступенчатого инициатора для «трубы». Первым отчетом на эту тему стал уже упоминавшийся выше отчет Зельдовича «Водородная дейтериевая бомба», написанный 9 февраля 1950 г. [11. С.253—258]. Он содержит схему «трубы», которая по своим конструктивным особенностям и физической сущности аналогична схеме Фукса в его материале 1948 г. (На с.53 приводится фрагмент этого отчета.)

Нельзя исключить, что и мысль об использовании атомных взрывчатых веществ для сильного повышения давления и, следовательно, плотности дейтерия в докладе А.С.Компанейца и С.П.Дьякова на семинаре в Лаборатории №2 АН СССР 2 декабря 1948 г. и даже идея Сахарова о предварительном сжатии «слойки» дополнительным зарядом плутония в его отчете, появившемся в январе 1949 г., вскоре после этого семинара, были развитием информации Фукса (доведенной Зельдовичем вначале в допустимой по условиям сохранения секретности форме до Компанейца и Дьякова). В новом материале Фукса, полученном в 1948 г., очень важным был уже сам факт двухступенчатости конструкции инициирующего блока, что, несомненно, стимулировало размышления о возможности создания двухступенчатой водородной бомбы, в которой первичный атомный заряд инициировал бы взрыв вторичного термоядерного узла. Чрезвычайно важным было также прямое указание на десятикратное сжатие вторичного узла из жидкой DT-смеси в результате переноса излучения в объеме кожуха (подчеркнем, однако, что в цитированном выше отчете Зельдовича, написанном 9 января 1950 г., этот принципиальной важности момент не отмечен — ни слова не говорится об обжигании DT-смеси под воздействием излучения первичного источника энергии, а сказано

Однако для передачи детонации дейтерию может потребоваться более сложная схема расположения промежуточных зарядов.

Первичной источником энергии попрежнему служит взрыв заряда урана  $^{235}$ .



Полученная энергия используется для разогрева легкого инертного вещества, в которое погружен сосуд с 2 литрами смеси 50% трития и 50% дейтерия, которая разогревается вместе с инертным веществом и реагирует. При быстрой протекании реакции в смеси  $D+T$  получается мощный поток нейтронов уносящих 80% всей энергии реакции  $D+T$ . Эти нейтроны проходят через непрозрачную, для излучения, стенку в промежуточно смесь 96%D и 4%T занимающую слой толщиной 10 см. в торце дейтериевой трубы; всего для инширования используется около 400 гр. трития. Взрыв последнего слоя должен обеспечить детонацию всего дейтерия находящегося в трубе.



Трое участников разработки и испытания РДС-37, первой советской двухступенчатой водородной бомбы: Герман Арсеньевич Гончаров, Валентин Николаевич Климов и Юрий Алексеевич Трутнев. Снимок сделан на Семипалатинском полигоне в ноябре 1955 г., когда было осуществлено испытание РДС-37.

лишь, что она «разогревается вместе с инертным веществом и реагирует»).

Из ссылок в имеющихся документах (в том числе в сводном отчете по изделию РДС-37) следует, что в 1952 г. существенные соображения по проблеме создания двухступенчатой водородной бомбы высказал В.А.Давиденко. Зельдович был первым физиком-теоретиком, проявившим инициативу по развертыванию работ в этом направлении еще до испытания РДС-6с. Хотя, как отмечалось выше, самая общая идея двухступенчатой бомбы была высказана Сахаровым еще в его первом отчете по «слолке», выпущенном в январе 1949 г. Именно Зельдович в сентябре 1952 г. в документе «О работах по РДС-6» поставил вопрос о необходимости начать теоретические и экспериментальные работы по новым методам обжатия [11. С.531]. А 22 октября 1952 г. в письме на имя Курчатова и заместителя начальника Первого главного управления при СМ СССР Павлова предложил конкретный полигонный эксперимент по разгону пластин (оболочек) с помощью взрыва атомной бомбы, помещенной в конический кожух весом 10–20 т. Об этом эксперименте Зельдович писал: «Проведение такого опыта является необходимым этапом для выяснения возможности использования обычных изделий для обжатия сверхмощных 6с (Давиденко, Сахаров, Зельдович)» [11. С.541–542]. Важно отметить, что этот вопрос был поставлен в нашей стране до испытания Соединенными Штатами Америки первого мощного термоядерного устройства с атомным обжатием «Майк», состоявшегося 1 ноября 1952 г. В январе 1953 г. Зельдович включил в план своего сектора пункт: «Исследования возможности применения обычных РДС для обжатия РДС-6с большой мощности» (атомное обжатие)», отметив, что работы проводятся совместно с сектором Тамма [11. С.580–582]. Однако в план работ КБ-11 эта тема включена не была.

Вероятно, учитывая указание Берии на то, что «нам надо приложить все усилия к тому, чтобы обеспечить успешное завершение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, связанных с РДС-6с» и мнение о недопустимости отвлечения сил от выбранного генерального направления, Курчатов направил предложение Зельдовича Павлову только 24 марта 1953 г. Павлов не поддержал предложение Зельдовича, написав, что, по его мнению, предлагаемый Зельдовичем опыт делать не следует, однако ознакомил с этим предложением Завенягина. Возможно, это и инициировало предложение им схемы «Канделябра» как возможного пути достижения симметричного сжатия термоядерного узла — ведь достижение симметричного сжатия было камнем преткновения в проблеме создания двухступенчатой водородной бомбы. Громоздкая схема Завенягина, конечно же, никогда не принималась всерьез. Определенные надежды связывались с предложенной Франк-Каменецким схемой «бритва», но наибольший интерес вызывала более простая бинарная конструкция. Именно такой конструкции двухступенчатого термоядерного заряда посвящена записка Зельдовича и Сахарова на имя Харитона, датированная 14 января 1954 г. [1].

Проводившиеся в течение 1953 г. и первых месяцев 1954 г. оценки возможности создания двухступенчатой водородной бомбы на основе указанных выше схем не давали обнадеживающих результатов, однако весной 1954 г. наступило прозрение: была осознана возможность создания эффективной двухступенчатой водородной бомбы с использованием радиационного обжатия. До этого времени во всех рассматривавшихся схемах двухступенчатых термоядерных зарядов для обжатия термоядерного узла предполагалось использовать в той или иной форме материальную составляющую энергии

взрыва первичной атомной бомбы. По воспоминаниям ветеранов, «однажды Зельдович, ворвавшись в комнату молодых теоретиков Г.М.Гандельмана и В.Б.Адамского, находившуюся против его кабинета, радостно воскликнул: “Надо делать не так, будем выпускать из первичного заряда излучение!”» [19]. Нельзя исключить, что эта мысль была инициирована повторным изучением материала Фукса 1948 г.

Однако сказать о выпуске излучения еще не означало открыть новую концепцию конструирования двухступенчатой водородной бомбы. Решающий шаг, приведший к этому открытию, сделал Сахаров. Найденные им автомодельные решения уравнений в частных производных позволили ему показать, что кожух из вещества с большим атомным номером служит пре-

красным отражателем излучения, выходящего из первичной атомной бомбы, так что в двухступенчатой водородной бомбе на принципе радиационного обжатия со вторичным термоядерным узлом типа «слойки» может быть достигнуто достаточно симметричное сжатие и эффективный взрыв вторичного узла [13, 20]. Тем самым принципиальная возможность создания двухступенчатого термоядерного заряда с использованием радиационного обжатия была подтверждена, и можно было говорить об открытии «третьей идеи».

Начатые с весны 1954 г. в КБ-11 энергичные расчетно-теоретические и изобретательско-конструкторские работы завершились успешным испытанием 22 ноября 1955 г. первой двухступенчатой водородной бомбы СССР — бомбы РДС-37, ставшей прототипом современного термоядерного оружия. Это было выдающееся и непреходящее по своему значению событие в истории создания ядерного оружия в нашей стране.

Из изложенного выше видно, что статья Горелика [2] наполнена утверждениями и построениями, которые не соответствуют действительности и создают искаженное представление об истории создания водородной бомбы в СССР. В статье сказано, что она написана «по итогам дискуссии на Атомном семинаре в Институте истории естествознания и техники РАН 1 июня 2006 г.». На самом деле статья Горелика ни в коей мере не может претендовать на отражение итогов этой дискуссии. Горелик совершенно безосновательно претендует и на личный вклад в ответ на вопрос: «Что есть историческая истина?» применительно к советскому термоядерному проекту (а именно так он назвал последний раздел своей статьи). ■

*В заключение автор выражает глубокую благодарность В.П.Визгину, С.С.Герштейну, В.С.Кострыкину и В.И.Ритусу за замечания и полезные обсуждения.*

## Литература

1. Гончаров Г.А. // УФН. 2005. Вып.175. №11.
2. Горелик Г.Е. Секретная физика и научная этика // Природа. 2007. №7.
3. Сахаров А. Воспоминания. Т.1 М., 1996.
4. Гончаров Г.А. // УФН. 1997. Вып.167. №8.
5. Феокистов Л.П. Водородная бомба: кто же выдал ее секрет // Труды Международного симпозиума «Наука и общество. История советского атомного проекта: 40—50-е годы. Т.1. М., 1997.
6. Горелик Г.Е. // Трибуна УФН. 19.05.2006.
7. Атомный проект СССР. Документы и материалы. Т.2. Атомная бомба. Кн.1 / Отв. ред. Л.Д.Рябев. Сост. Г.А.Гончаров, П.П.Максименко, В.П.Феодоритов. М.; Саров, 1999.
8. Гончаров Г.А. // УФН. 1996. Вып.166. №10.
9. Goncharov G.A. // Physics Today. 1996. V.49. №11.
10. Атомный проект СССР. Документы и материалы. Т.2. Атомная бомба. Кн.6 / Отв. ред. Л.Д.Рябев. Сост. Г.А.Гончаров, П.П.Максименко. М.; Саров, 2006.
11. Атомный проект СССР. Документы и материалы. Т.3. Водородная бомба. Кн.1 / Отв. ред. Л.Д.Рябев. Сост. Г.А.Гончаров, П.П.Максименко. М.; Саров, 2008.
12. Гончаров Г.А. // Трибуна УФН. 19.05.2006.
13. Гончаров Г.А. Термоядерный проект СССР: предыстория и 10 лет пути к водородной бомбе // История советского атомного проекта: Документы, воспоминания, исследования. Вып.2. М., 2002.
14. Teller E. Comments on Bethe's history of thermonuclear program. August 14, 1952. Record of JCAE, Record Group 128, National Archives.
15. Архив Росатома. Д.24—16343.
16. Holloway D. // Physics Today. 1996. V.49. №11.
17. Hirsch D., Mathews W. // Bulletin of the Atomic Scientist. 1996. January/February.
18. Hirsch D., Mathews W. // Bulletin of the Atomic Scientist. 1997. July/August.
19. Харитон Ю.Б., Адамский В.Б., Смирнов Ю.Н. // УФН. 1996. Вып.166. №2.
20. Романов Ю.А. Отец советской водородной бомбы // Этюды к научному портрету. Глазами коллег и друзей. Вольномыслие. М., 1991.



# Владимировка — древнейший медный рудник Алтая

А.М.Малолетко,  
доктор географических наук  
Томский государственный университет

**Заметки и наблюдения**

Нередко в археологии открытия делаются не учеными, а людьми, просто умеющими удивляться. В 1955 г. аспирант Томского политехнического института А.И.Баженов собирал на Алтае материал для своей диссертации в геолого-разведочной партии, работавшей недалеко от с.Владимировка на р.Чарыш. В один из августовских вечеров при взрыве мерзлых пород был вскрыт древний карьер, заложенный на выходе медных руд. В карьере и выбросе были собраны кайлушки из бычьих или коровьих рогов, дубинка с выжженным узором, шкура северного оленя и другие предметы. Каменный сверленный топор найден недалеко в расщелине между камней.

Находки так и ушли бы в небытие, если бы Баженов не проявил к ним интерес. По его просьбе работавший с ним студент И.М.Петров привез находки в Томск и передал их в Музей материальной культуры Томского государственного университета. В 1961 г. археолог Л.Р.Кызласов познакомился с коллекцией и написал небольшую статью, опубликованную в 1965 г. Возможно, все бы этим и ограничилось, если бы летом 1983 г. автор этих строк не встретился с Баженовым в горном поселке Кош-Агач. Узнав, что я интересуюсь археологией, Александр Иванович поведал мне давнюю историю об артефактах из Владимировки. Мы договорились туда поехать. Но собрались в 1984 г., когда Баженов уже не мог под-

няться по бездорожью в горы и только указал общее направление поисков. Обнаружить канаву среди множества других горных выработок тогда не удалось. Она была найдена лишь в 1994 г. участником экспедиции 1984 г., археологом и краеведом из Барнаула В.Бородаевым.

Памятник находится на высоте 2070 м над ур.м., на склоне хребта, обращенном к долине Чарыша, в нескольких километрах от с.Владимировка. Разведочная канава глубиной 2,5–3 м и длиной более 12 м прошла по древнему руднику. Рудным минералом был сульфид меди (халькопирит). Никаких признаков окисленных минералов меди (например, малахита) не было. Это ставит памятник в число наиболее загадочных российских древностей: прежде считалось, что ранние металлурги получали медь только из руд зоны окисления. Возраст памятника — 4665±75 лет — определен радиоуглеродным методом в лаборатории Сибирского отделения РАН.

В момент эксплуатации рудника, как и ныне, там была вечная мерзлота, и проходку выработки древние горняки вели «пожогом», о чем свидетельствуют многочисленные угольки на дне канавы.

Собраны предметы из дерева, камня, рогов крупного рогатого скота (коров, быков), кости. Найдена шкура северного оленя, на которую насыпали оруденелую породу, кожаный ремешок и веревка из шерсти.

Крупногалечные орудия грушевидной формы (16 экземпля-

ров) использовались в качестве молотков.

Главными орудиями для разработки твердых пород служили изделия из рога быков и коров разных размеров. Их использовали как клинья для скалывания кусков породы. (В 1955 г. было найдено несколько десятков.) Острый конец рога затесан, сверху, по раструбу, у некоторых экземпляров сделаны отверстия диаметром 2–2,5 см для рукояток, которые делали безопасной работу с роговыми клиньями. Внутрь рога был забит деревянный вкладыш, по которому удаляли каменными молотками. Вкладыши в верхней части размочалены. Найдены плохо сохранившийся обломок рога марала и кайлушка из кости со сквозным отверстием.

Благодаря вечной мерзлоте деревянные изделия прекрасно сохранились. Так, палку из ствола молодой лиственницы (длиной 62 см, диаметром 4,3–4,5 см) приняли за современную, оставленную геологами, а ей по радиоуглеродной датировке оказалось около 5 тыс. лет. Возможно, палка предназначалась для изготовления вкладышей в роговые клинья.

В нетленном состоянии остались и другие предметы из органического материала: часть шкуры северного оленя с сохранившейся шерстью (1×0,6 м); два кожаных ремешка, связанных вместе, которыми, возможно, привязывали каменные орудия к деревянной рукояти; обрывок веревки, сплетенной из шерсти.



Артефакты, найденные близ Владимировки: каменный топор, деревянный вкладыш, костяная кайлушка, рог с вкладышем.



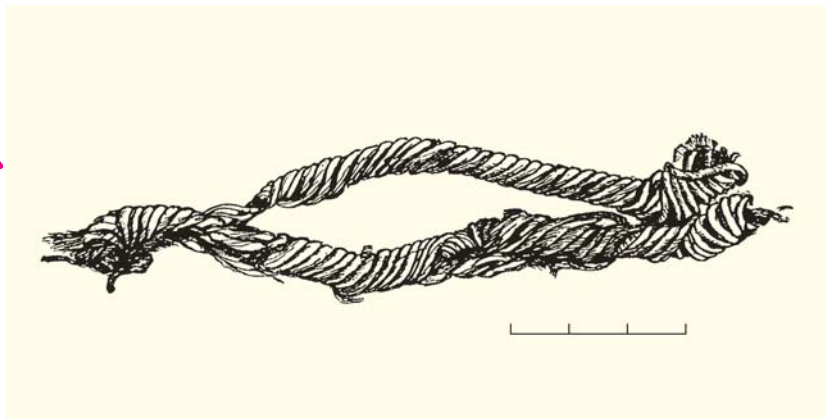
Рог без вкладыша.

Столь древние предметы (волосяная веревка, ремни, роговые клинья с вкладышами) найдены в Сибири впервые.

Принадлежность древних горняков к определенной культуре вполне надежно определяется находкой каменного шлифованного топора размером 15×7 см, изготовленного из очень твердой породы — грана-



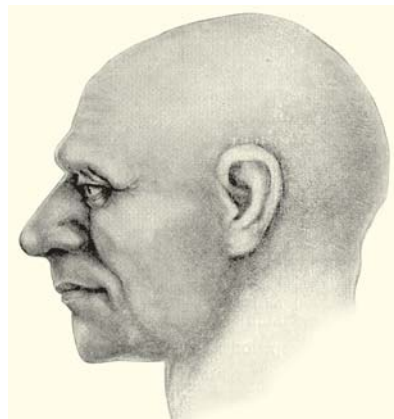
Каменные орудия.



Веревка из шерсти.

тового скарна. Он имеет идеально сверленное отверстие диаметром 29 мм, центр которого смещен к верхней части. В Восточной Европе такого типа топоры исчисляются многими сотнями. Характерны они для древнейшей культуры, возраст которой уходит в четвертое тысячелетие до новой эры. Найти такой топор в Сибири — большая удача. Известно лишь несколько экземпляров, один из которых найден на Алтае, второй — в Шории. Археологами

признается, что в Сибирь (Алтай, Минусинская котловина) такие топоры принесены из Северного Причерноморья и Северного Прикаспия носителями древнейшей культуры, которые на новом месте создали афанасьевскую культуру, ныне хорошо изученную. Афанасьевцы были скотоводами и умелыми охотниками, изготавливали орудия из меди. Это были высокорослые (до 180 см) люди, европеоидного типа, большеголовые, с широким лицом, пока-



Афанасьевец с Алтая.  
Реконструкция М.М.Герасимова.

тым лбом, глубоко сидящими глазами, длинным широким носом, массивной нижней челюстью и мягко очерченным подбородком.

Эти люди почти 5 тыс. лет назад осваивали просторы Южной Сибири, по только им знакомым признакам разыскивали медные руды в диких горах Алтая. Оставленные ими «чуждские копи» спустя тысячелетия позволили русским рудознатцам открыть на Алтае немало месторождений. ■

# Копытень и людорфия

Т.А.Москалюк,

доктор биологических наук  
Ботанический сад-институт ДВО РАН  
Владивосток

В.А.Кирпичникова,

кандидат биологических наук  
Горнотаежная станция ДВО РАН  
Приморский край

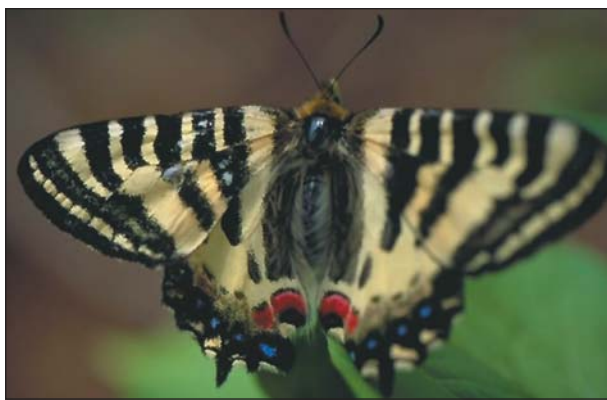
В Приморском крае более 2 тыс. видов растений, о каждом из которых можно рассказать много интересного, будь то название и история открытия вида, его происхождение, полезные свойства или особенности произрастания в содружестве с другими растениями, а нередко и с определенными видами насекомых.

© Москалюк Т.А.,  
Кирпичникова В.А., 2009

Один из таких удивительных примеров: тесная связь редкого на Дальнем Востоке растения — копытня Зибольда (*Asarum sieboldii*) и «краснокнижной» бабочки — людорфии Пуцило (*Luebdorfia puziloi*).

Ранней весной, пока деревья только пробуждаются от долгого зимнего сна и у них лишь набухают и лопаются почки, в лесах на охристом фоне прошлогодних листьев появляется разно-

цветный пестрый узор, который создают многолетние травянистые растения (эфемероиды). В течение короткого времени — всего за несколько недель — им нужно пройти весь годичный цикл жизни. Наиболее обилён лютик Франше (*Ranunculus franchetii*) с желтыми цветками, на фоне которых выделяются нежно-сиреневые цветки косоплодника сомнительного (*Plagiorhizma dubia*), белые — ветровоч-



Бабочки людорфии Пуцило.



Копытень Зибольда.

[www.k3.dion.ne.jp](http://www.k3.dion.ne.jp)

Здесь и далее фото Т.А.Москалюк



Опушка леса весной — излюбленные места лёта людорфии. Вверху (слева направо) — лютик Франше, косоплодник сомнительный и адонис амурский; внизу — копытень Зибольда, ветровочник дальневосточный и рябчик уссурийский.

ника дальневосточного (*Anemoides extremiorientalis*) и желтые — адониса (*Adonis amurensis*). Слабые стебли рябчика уссурийского (*Fritillaria ussuriensis*), карабкаясь с помощью усиков по кустарникам, выносят вверх бордово-коричневые в крапинку опрокинутые бокальчики цветков. И над всем этим разноцветным ковром порхают и мечутся яркие людорфии в поисках их единственного кормового растения — копытня, хрупкие листочки и пурпурно-бордовые цветки которого пробиваются весной сквозь рыхлый слой жухлой листвы.

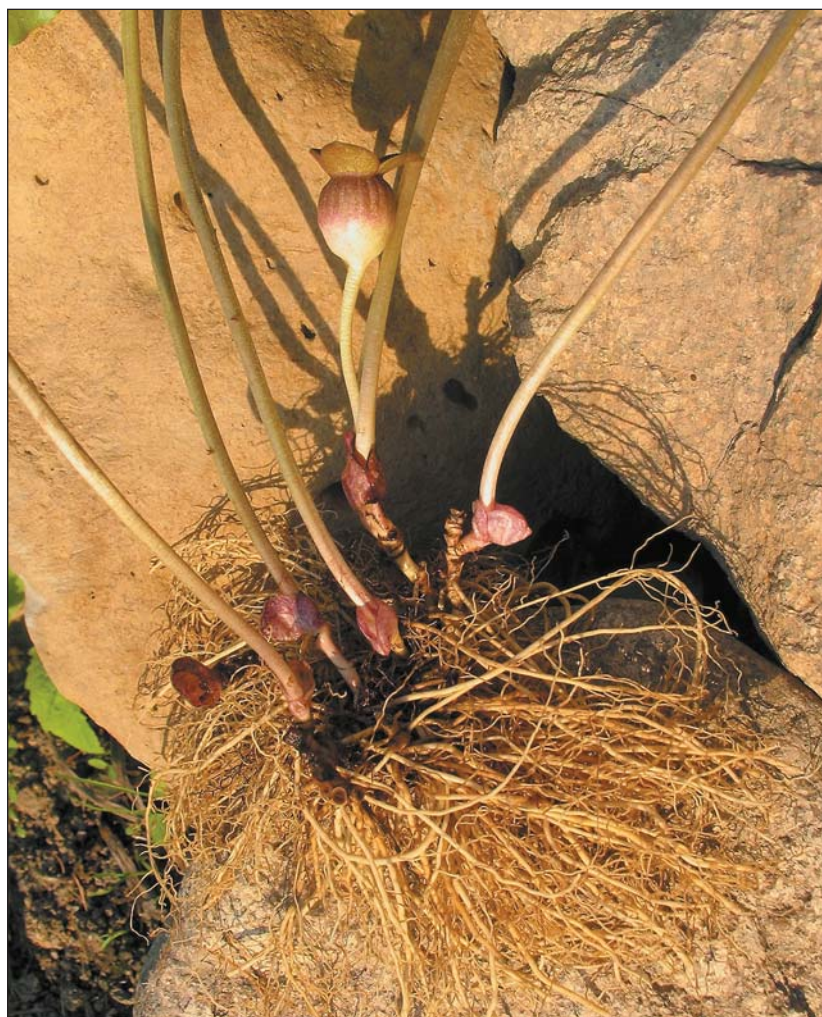
Копытень Зибольда — многолетнее растение семейства кирказоновых (*Aristolochiaceae*). В этом разнообразном семействе (около 650 видов) семь родов, два из которых в России — копытень (*Asarum*) и кирказон (*Aristolochia*)\*. Представлены они деревянистыми лианами или многолетними травами и растут, главным образом, в тропиках и субтропиках. Более 70 видов распространено в умеренной зоне Северного полушария, особенно в Японии. Копытень Зибольда растет во влажных, тенистых кедрово-широколиственных лесах и кустарниковых зарослях на богатой гумусом почве; в Приморье он обычен, на юге Амурской обл. — редок [1], а за пределами России встречается в Японии, Китае и Корее.

Русское название рода (копытень) связано с формой листа, латинское (*Asarum*) отражает другую биологическую особенность растения — резкий неприятный запах, напоминающий запах перца и валерианы. Это свойство использовали в народной медицине при отравлениях: корень толкли в порошок и вдыхали как нюхательный табак, провоцируя рвоту. Как и большинство других ядовитых растений, копытень используется с незапамятных вре-

мен. Знаменитый персидский философ и врач Авиценна (980—1037) писал о копытне: «...Корни — самое полезное, что в нем есть. Сила его та же, что у айра, но сильнее. Асарун открывает закупорки и успокаивает все внутренние боли, особенно его настой. В части очищения желудка он подобен чемерице...». Эти слова Авиценны относятся к копытню европейскому (*A. europaeum*) — близкому родственнику копытня Зибольда, о котором европейцы ничего не слышали до второй половины XIX в., но зато хорошо знали и ценили на Дальнем Востоке. В Китае, Корее и Японии копытень Зибольда издавна применяют в качестве мочегонного,

потогонного, жаропонижающего, слабительного, улучшающего пищеварение средства, а также как успокаивающее, отхаркивающее, ранозаживляющее, при головной и зубной боли, судорогах рук и ног. Известен старинный корейский рецепт «Рючхи» [2], по которому надо часто полоскать рот подогретым густым отваром из корневищ и листьев при опухании и болезненности десен, гнойничках в полости рта.

Ползучие мочковатые корневища копытня содержат алкалоид азарин, гликозиды, в том числе сердечной группы, смолы и дубильные вещества, органические кислоты и их соли, крахмал, слизь, эфирное масло,



Мочковатые корни копытня, согласно Авиценне, самое полезное, что в нем есть.

\* Подробнее см.: Наконечная О.В., Копытень О.Г., Сидоренко В.С. Современник исчезнувших континентов // Природа. 2008. №5. С.52—56.



Еще не развернувшиеся листья копытня (слева). От весенних холодов их спасают, как и многие другие первоцветы (на фото справа — первый лист ветреницы удской), опушение и красновато-бурая окраска.

состоящее в основном из ядовитого вещества азарона, исчезающего при сушке растения. В современной медицине препараты из копытня используют при лечении полипов носа, фарингитов, плевритов, болезней печени, а также входят в состав комплексных средств, применяемых для лечения наркомании, язвенной болезни, змеиных укусов [3].

Видовое название приморский копытень получил в честь немецкого естествоиспытателя, ботаника и врача Филиппа Зибольда (1796—1866), который провел более шести лет в Японии на о.Десима [4]. Зибольд хорошо подготовился к предстоящей жизни в «стране восходящего солнца», которая длительное время была закрыта для европейцев. Чтобы заинтересовать любознательных японцев современными научными открытиями Европы, он привез с собой электрическую машину, гальванический аппарат и воздушный насос. Подарками, рассказами и показами опытов с электрическими машинами, а также умением лечить людей Зибольд завоевал доверие японцев, и ему

была предоставлена относительная свобода передвижения по стране. В результате Зибольд собрал богатейшие коллекции минералов, растений и животных и был признан учеными всего мира лучшим знатоком флоры и фауны Японии. Возле дома он разбил ботанический сад, где выращивал растения экзотических видов для отправки на Яву, а оттуда в Европу.

О своем путешествии Зибольд написал книгу, имевшую огромный успех. Она была переведена на русский язык и вышла в 1854 г. в России под названием «Путешествие по Японии, или описание Японской империи в физическом, географическом и историческом отношении, дополненное сведениями и известиями из Кемпфера, Фишера, Дефа, Шарльвца, Гогендорна, Крузенштерна, Тунберга, Варениуса и др.». Годом раньше Зибольд приехал в Санкт-Петербург, чтобы дать ряд ценных справок дипломатической миссии под руководством адмирала Е.В.Путятина о Японии и торговых отношениях в Азии. До самой смерти он занимался разбо-

ром и описанием своих разнообразных коллекций, издавая очередные тома по флоре и фауне Японии.

Имя Зибольда увековечено в названиях множества видов японских животных и растений, семь из которых встречаются и на российском Дальнем Востоке. Мало кто даже из ботаников знает, что копытню имя Зибольда дал нидерландский ботаник Фридрих Миккель, никогда не выезжавший из Европы и не бывавший ни в Японии, ни на Дальнем Востоке России. Будучи врачом по профессии, он страстно любил растения и в 1859 г. был избран профессором ботаники в Утрехтском университете, а вскоре — директором Национального гербария в г.Лейдене. В этом гербарии хранилось особенно много засушенных растений из Японии, собранных не только Зибольдом, но и знаменитым шведским ученым-натуралистом Карлом Тунбергом (1743—1828) и другими путешественниками. Разбирая огромные коллекции растений, Миккель делал описание к многим из них, а некоторым и давал

названия. Среди них оказалось и необычное растение из Японии — копытень Зибольда.

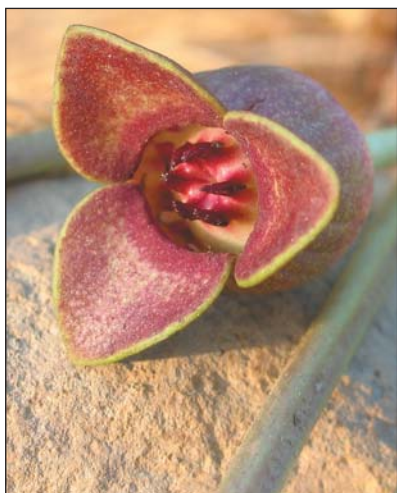
Эти невысокие (до 20 см) растения хорошо выделяются среди разнообразного лесного разнотравья в течение всего лета благодаря широкому (5—10 см) почковидно-остроконечным пластинкам листьев на длинных черешках. Небольшие размеры столь обычны для копытня Зибольда, что однажды мы с трудом узнали пару огромных листьев (50 см высотой и 18 см шириной!) в осоково-разнотравном травостое на лужайке рядом с ручьем в густом грабово-липовом кедровнике.

Ранней весной среди массы пробивающихся на свет рост-

ков выделяются листочки копытня, сложенные вдоль центральной жилки, как две ладошки вместе. Молодые растения — бурые с насыщенным бордовым, нередко пурпурно-бордовым оттенком, густо покрыты тонкими волосками. Еще холодно, и бордовый (антоциановый) цвет и опушение, как у многих других растений, защищают нежные ткани от переохлаждения. С приходом тепла листовые пластинки отрастут, огрубеют и из бурых постепенно станут темно-зелеными, а опушение останется. Но самое интересное — относительно крупные (до 1,5 см в диаметре) цветки. Они не такие броские, как у других первоцвет-

тов — лепестков нет, на них похожи темно-пурпурные лопасти трехразрезанного отгиба околоцветника. Расположены цветки копытня близко к поверхности почвы, нередко скрыты в лесной подстилке, поэтому их легко и вовсе не заметить. Глубоко внутри цветка находится завязь белого цвета и 12 тычинок.

На протяжении всего вегетационного сезона цветки не меняют ни форму, ни цвет. Складывается впечатление, что копытень цветет все лето. Но это не так. Уже к концу июня завязь разрастается, заполняя внутри весь цветок. Внешне это незаметно. Семена снабжены элайосомами — мясистыми придатка-



Даже такие небольшие «коврики» копытень Зибольда образует редко, обычно он растет в одиночку. Слева сверху — трезубый цветок этого растения, внизу — плод с разросшейся завязью.





Кладка яиц людорфии Пуцило на обратной стороне листа и гусеницы после первой линьки.

ми, которые привлекают муравьев, разносящих семена. Так он расселяется по всему лесу.

Копытень Зиболяда никогда не образует сплошного покрова на большой площади, как, например, ландыш или лесной мак весенний. Обычно растет одиночно или небольшими группировками, занимая не более 3 м<sup>2</sup>. Малые размеры ценопопуляций (т.е. совокупности

особей одного вида в пределах одного сообщества, или ценоза) копытня ставят под угрозу выживание не только этого вида, но и связанной с ним бабочки — людорфии Пуцило семейства парусников, или хвостоносцев (Papilionidae).

Эти бабочки очень осторожны, подпускают к себе не ближе метра, а чуть двинешься — сразу взмывают вверх. Перелеты это-

го небольшого хвостоносца с одного яркого цветка на другой можно было бы расценить как отвлекающий маневр, однако на самом деле его интересует копытень. Дело в том, что людорфия Пуцило — монофаг, ее гусеницы кормятся только листьями копытня Зиболяда, поэтому ареалы обоих видов тесно связаны [5].

Главная задача бабочки — отложить на обратную сторону листка копытня кладку из нескольких зеленовато-перламутровых яиц, из которых через несколько дней появляются черные гусеницы, густо покрытые волосками. Сначала они держатся вместе, выгрызая круглое с неровными краями отверстие в листовой пластинке, затем, после линьки, начинают выедать целые участки между жилками на пластинке [6]. В итоге от бывшего листа остается один только скелет из жилок и черешка листа, и наступает пора перебираться на другую «кормовую базу». Съев определенное количество корма и достигнув предела своего развития, гусеницы спускаются в подстилку, где и окукливаются среди опавших листьев. Куколки — голые, темно-коричневого цвета, найти их еще труднее, чем гусениц. Ранней весной из них вылетают



Это все, что осталось после трапезы гусениц людорфии Пуцило.

бабочки, и жизненный цикл повторяется.

Очень важно, чтобы плотность населения гусениц людорфии была более-менее постоянной — при ее увеличении может сократиться и без того малочисленная популяция копытня, при снижении очевиден риск вымирания самой бабочки.

Необычные родовое и видовое названия людорфии Пуцило, как и у копытня, тесно связаны с историей освоения Дальнего Востока России, точнее с двумя людьми, жившими здесь в конце XIX в. [7]. Они не были биологами и к науке имели лишь косвенное отношение — на уровне любительского коллекционирования красивых бабочек. В то же время оба всячески способствовали изучению уникальной природы нашего региона.

Род бабочки назван в честь Ф.А.Людорфа — предпринимателя из Гамбурга, купца 1-й гильдии, прибывшего в г.Николаевск-на-Амуре в 1856 г. Людорф был известным меценатом, за что ему присвоили звание советника коммерции, а в 1865 г. он

стал выборным старостой города. Позднее он переехал во Владивосток. Продолжая заниматься коммерцией, материально поддерживал натуралистов-энтомологов и сам коллекционировал бабочек, собирая их в окрестностях Владивостока.

Удивительное совпадение по времени — Зибольд и Миккель занимались изучением копытня примерно в те же годы, когда в канцелярии губернатора Восточной Сибири, находившейся тогда в г. Иркутске, служил М.П.Пуцило. В свободное от службы время вместе со ссылкой он совершал экскурсии в окрестностях города, в горах, собирая коллекции по этнографии, археологии и зоологии. С 1879 г. Пуцило стал чиновником по особым поручениям областного управления Приамурского края, куда в то время входило и Приморье. Он заинтересовался бытом корейцев, поселившихся в бассейне р.Суйфун, и составил первый русско-корейский словарь. Инспектируя корейские поселения, Михаил Павлович был настолько поражен нищетой голодающих ко-

рейцев, что выделил личные сбережения на их пропитание и обустройство. За этот поступок недовольное начальство отправили Пуцило в отставку, и он был вынужден покинуть Дальний Восток. Благодарные корейцы поставили ему два памятника и просили назвать его именем одно из своих поселений. Так на карте Приморья появилась деревня Пуциловка. Дальнейшая недолгая (он прожил всего 44 года) жизнь этого незаурядного человека проходила в Москве, где он служил в Главном архиве Министерства иностранных дел и до конца дней продолжал изучать историю освоения восточных рубежей России.

И пока будет расти в наших лесах копытень Зибольда в окружении хоровода весенних цветов, пока будет порхать над ними, сверкая крылышками в солнечных лучах, людорфия Пуцило, в нашей памяти будут жить имена замечательных людей, оставивших большой след в истории нашего края и являющимися собой пример бескорыстного служения науке и людям. ■

## Литература

1. Сосудистые растения советского Дальнего Востока / Ред. С.С.Харкевич. СПб. (Л.), 1985—1996. Т.1—8.
2. Фруентов Н.К. Лекарственные растения Дальнего Востока. Хабаровск, 1972.
3. Коляда А.С., Фролов В.Д. Лекарственные растения Приморья: свойства и применение. Владивосток, 1992.
4. Жуков Г.В. Чье имя ты носишь, растение? Сто пятьдесят кратких биографий (Из истории ботанических исследований на Дальнем Востоке). Владивосток, 2001.
5. Yosiaki M. Распространение и экология *Luehdorphia puziloi* в Приморье // Gekkan-mushi. 1984. №158. P.4—5 (яп. яз.).
6. Куренцов А.И. Булавоусые чешуекрылые Дальнего Востока СССР: Определитель. Л., 1970.
7. Хисамутдинов А.А. Три столетия изучения Дальнего Востока. Владивосток, 2007.

# Вести из экспедиций

## Белые пятна Новой Земли

В.И.Булавинцев,

кандидат биологических наук

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

В.Н.Калякин,

кандидат биологических наук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

В.И.Хахин,

кандидат биологических наук

ВНИИ охраны природы

Знаменское-Садки

В Арктике, в студеное море, раскинулся архипелаг Новая Земля. Протяженность его с юга на север более тысячи километров. Два основных острова, Южный и Северный, разделены проливом с необычным названием — Маточкин Шар. Вот в эти места, на забытую богом и людьми островную сушу, кстаты, до сих пор таящую немало «белых пятен», мы (Булавинцев и Хахин) и стремились.

Хлопоты были немалые. Полгода ушло у Хахина на оформление бумаг и разрешений разного рода. Даже фотоаппараты в соответствующем ведомстве проверили на наличие шпионской начинки. Наклейки с голограммами прилепили. Заодно и объективы с аккумуляторами «опечатали». Кто бы рассказал, не поверил бы, однако так и было.

Пришло время отлета, до последнего момента неясно было, пустят на архипелаг или нет. Однако пустили, сообщив об этом буквально за сутки до отлета. С утра прибыли на военный аэродром, ждем. Нет погоды, после полудня домой поехали. На следующий день то же самое, не принимает Новая Земля по метеоусловиям. Но ездили пару дней не зря. Потаскали тяжелые рюкзаки и сумки, треть груза дома оставили и уж на

третий день улетели. Не сразу, конечно, с час под крылом самолета посидели на рюкзаках в неведении, пока окончательное добро на вылет дали.

Самолет небольшой, почтово-транспортный, мест на двадцать. Вырулили на взлетную полосу, моторы мощь набирают на тормозах, чтоб потом шибче бежать. В салоне что-то дребезжит под обшивкой, поскрипывает, то ли крепеж не довернули, то ли так надо, кто их знает? Авиация дело тонкое. Взлетели лихо, экипаж толковый оказался, хоть и молодые ребята. Только командир в годах. Высоко поднялись, вата облаков далеко внизу осталась. Несколько часов лета, и плюхнулись на Новой Земле тряско, со скрежетом. Полоса-то — не в Шереметьеве, да и ветер боковой, свежий, порывистый. Но долетели, и на том спасибо.

Дело к вечеру, привезли нас в гостиницу, только что обновленную, поверху сайдингом в облипочку отделанную. Переночевали в ней, надо сказать, недешево, а на утро перебрались на базу знакомых геофизиков. Устроились.

Тундра сама по себе, а арктическая в особенности, да еще к концу лета, зрелище невеселое, если не сказать унылое. Чахлые луговины с болотинами по долинам да щебнистые увалы по буграм. С высоты птичьего

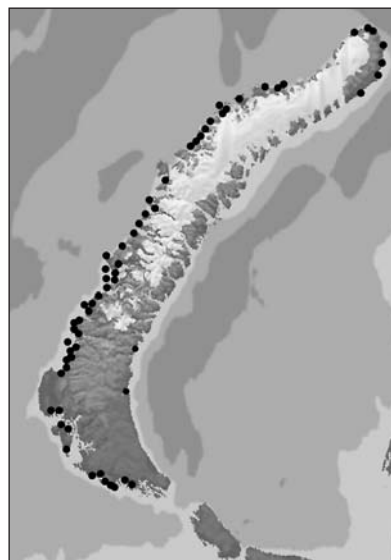


Схема расположения основных птичьих базаров на Новой Земле.

полета — множество озер и речек. Однако унылость этих мест и видимое однообразие — только по первому впечатлению. Поживите здесь, побродите по холмам и долинам, откроется суровая красота этой краеземельной суши.

Интереснейший элемент животного мира Новой Земли — птичьи базары. Первые упоминания о них на архипелаге датируются концом 16-го столетия и относятся к отчетам экспедиций В.Баренца. О достаточном расположении некоторых из базаров упоминается



Речной каньон. В таких местах по кромкам скальных обрывов охотно гнездится белошекая казарка.

Здесь и далее фото В.И.Булавинцева

в отчетах экспедиции 1830 г. П.К.Пахтусова и С.А.Моисеева. Самый полный список — в нем числится 47 птичьих базаров — был опубликован в 1956 г. С.М.Успенским. Этот же автор считал, что общая численность толстоклювых кайр на Новой Земле составляет около 2 млн особей.

Необходимо отметить, что в 19-м и даже в первой половине 20-го столетия на архипелаге велся интенсивный, а порой и просто хищнический промысел кайр и их яиц. Так, по свидетельству Г.П.Горбунова (1925, 1929), в начале 20-х годов прошлого века каждый промышленник стремился добыть на прокорм ездовых собак до 10 тыс. кайр в год и еще столько же яиц для членов своей семьи. Кроме того, на некоторых базарах орудовали норвежцы, промышленлявшие сбором яиц для изготовления мыла, причем использова-



Птичий базар в конце лета. На скалах остались одни моевки; кайры и их слетки уже ушли в море.



Толстоклювая кайра — наиболее многочисленный вид морских птиц в Северном полушарии. Мировая популяция с учетом не размножающихся птиц, по оценкам орнитологов, составляет более 20 млн особей; от 5 до 10% — обитатели птичьих базаров на Новой Земле.

лись только желтки. В военные годы промысел кайр резко усиливался. В результате, если в 1933—1934 гг. С.К.Красовский оценивал численность кайр на базарах губы Безымянной в 1,644 млн особей, то уже в 1942 г. Л.О.Белопольский отмечает 600 тыс., а С.М.Успенский в 1950 г. — 371 тыс. и, наконец, в 1994 г. на тех же базарах учтено только 141 тыс. птиц.

Сегодня на Новой Земле известно около 80 базаров, из которых лишь пять на карской, ледовой стороне, поныне наименее исследованной биологами. Да и западное побережье обследовано далеко не полно. Посему и ныне достоверных данных о многих птичьих базарах с их населением пока не существует. Современная малодоступность архипелага для сторонних лю-

дей и прекращение промысла кайр и их яиц, широко практиковавшегося даже в первой половине прошлого века, должны положительно сказаться на воспроизводстве морских птиц. По самым скромным подсчетам, ныне на архипелаге в летнее время может быть от одного до двух миллионов кайр и более 100 тыс. трехпалых чаек — моевок. Но если учесть, что данные по многим районам архипелага отсутствуют, возможно, общая численность птиц на архипелаге значительно больше. Кроме недостатка данных существуют объективные трудности учета, например, люриков, мелких, чуть больше перепела, чистиковых птиц, которые гнездятся скрытно — в расщелинах скал и развалах камней. По литературным данным, конечно далеко не полным, на Новой Земле отмечено гнездование более пяти тысяч пар люриков. Не исключено, что на архипелаге имеются еще неизвестные колонии этих птиц.

Обычны, хотя и немногочисленны чистики, имеются сведения о гнездовании гагарки. Весьма обычна на Новой Земле, как, впрочем, и везде в Арктике, крупная чайка бургомистр, паразитирующий на птичьих базарах. Столь же широко, но крайне неравномерно (спорадично), распространен тупик. Как правило, он роет гнездовые норы, для которых необходим почвенный горизонт, а это редкость на архипелаге.

В небольшом количестве гнездятся на Новой Земле тонкоклювые кайры, предпочитающие устраивать гнезда на пологих скалах и не идущие на север далее Архангельской губы. Почти так же редок глупыш. Количество его гнездовий сокращено прямым преследованием человеком и собаками, поскольку гнезда устраиваются на верхних краях птичьих базаров и легко доступны для разорения.

Из крупных чаек на Новой Земле встречаются малая полярная чайка и морская. Не каждый год, но все же гнездится здесь



Трехпалая чайка — моевка. Это основной конкурент кайры за «место под солнцем» на птичьих базарах.



Бургомистр. Синантропный вид и обычный обитатель птичьих базаров.



Песчанка. Обитательница высокоширотной Арктики России, Северной Америки и Гренландии.



Белая чайка — редкая птица высокоширотной Арктики. Обычна на Северном острове архипелага и, возможно, на карской стороне.

большой поморник. Охотится он в основном на леммингов, но в годы, когда их мало, переключается на добычу птиц, главным образом моевок и белощеких казарок. Кстати, последние десятилетия отмечены явным и весьма успешным восстанов-

лением численности этой казарки. Во многих районах Новой Земли ее стало больше, чем других видов гусей, вместе взятых, — гуменника, белолобого гуся и черной казарки. Список гнездящихся птиц можно дополнить сапсаном, белой совой,

зимняком, тремя видами некрупных поморников, различными куликами и воробьиными птицами, среди которых, конечно, на первом месте пуночки.

Спорадично, и только на Северном острове, встречается белая чайка, вид обычный для по-



Камнешарка — обычный вид, обитающий на морском побережье Арктики. На Новой Земле часто прилетает к помойкам и свалкам.



Пуночка, как и бургомистр, — синантропный вид. Гнездится по каменистым развалам речных долин и на морском побережье.

лярных пустынь высокоширотной Арктики. Еще до начала XX в. она встречалась в районах скопления ластоногих и китообразных, где и проводился зверовой промысел. Но времена добычи морского зверя ушли в прошлое, и теперь даже трудно представить былое обилие в Арктике морских млекопитающих.

Современная арктическая тундра, особенно ее южная часть, — сравнительно молодое образование. К тому же суровость климата резко ограничивает видовое разнообразие. Все это негативно сказывается на устойчивости арктических экосистем в целом и островных в частности. Более того, островные экосистемы сами по себе легко ранимы. Достаточно вспомнить печально известные примеры угнетения или полного уничтожения видов аборигенных фаун на некоторых океанических островах в тропиках. А ведь тропические условия для развития жизни близки к идеальным. Причина же экологических бед островного масшта-

ба — всего лишь завоз, вольный или невольный, овец, коз, кроликов, кошек, собак и крыс.

Кстати, о собаках в Арктике. Известно, что взаимоотношения человека с белым медведем в последнее время сильно осложнились. Со времени внесения этого вида в списки Красных книг МСОП и России минул достаточный срок, чтобы медведи потеряли страх перед человеком и его жильем. Встретить хозяина Арктики в поселках или на свалках неподалеку от жилья — дело обычное, особенно поздней осенью, в середине зимы и ранней весной. Раньше у жителей были собаки «медвежатники», крайне добродушные к человеку, но злобные к зверю. Теперь в Арктику бесконтрольно везут кого ни попадя: болонки, таксы, боксеры, бульдоги и другую «диванную» братию. Но если все они на крайнем севере просто бесполезны, то завезенные сюда овчарки, выведенные исходно для работы «по человеку», попросту опасны для окружающих, особенно детей.

Возникает, и нередко, такая ситуация. Овчарка или другая сторожевая собака кусает человека, и объявляется компания по отстрелу бездомных псов. Кто попадает на мушку в первую очередь? Конечно, благодушные увальни с кровью зверовых лаек. Вот таким образом и извели на Новой Земле практически всех зверовых собак, по сути единственную на сегодня действенную защиту людей от безнаказанных визитов белых медведей.

Мишки милы и забавны, пока малы и сыты. Можно и сгущенкой с рук покормить, да еще доверить это собственному ребенку, широко практикуется на севере и такая глупость. Но белый медведь — мощный и умный хищник. Вспоминают об этом, к сожалению, когда случается очередная беда — гибель человека. Охрана краснокнижного вида — дело святое, но рядом с жильем человека медведю не место. Дикий зверь должен опасаться людей. Ему же лучше. Иначе рано или поздно он напомнит о своем зверином есте-

стве. В результате — очередная жертва и вынужденный отстрел хищника.

К вопросу о ранимости островных экосистем относится и ситуация с аборигенным ноземельским северным оленем. Бездумная «акклиматизация» домашних оленей, завезенных в 30-е годы прошлого столетия с о.Колгуев, привела к тому, что на архипелаге оказались «бесхозными» более полутысячи этих животных. Домашние олени, будучи более крупными и сильными, естественно, заняли лучшие пастбища на Южном острове, оттеснив аборигенов на север, где условия существования самые суровые. Более того, раньше дикие олени совершали сезонные миграции с теплой, западной стороны архипелага на карскую, восточную. Происходило это из-за частых гололедов на баренцевоморском побережье Новой Земли. Карская сторона, где климат континентален, реже подвержена пагубным гололедам. Она веками служила резервным убежищем для диких оленей, обеспечивая их выживание. Теперь им приходится «мириться» с присутствием на карской стороне одичавших собратьев.

Не менее пагубна для оленей-аборигенов возможность кровосмешения с одичавшими домашними животными. К сожалению, до сих пор генетические исследования по этой проблеме не ведутся. И пока не появится на архипелаге природоохранная структура федерального уровня, все останется по-прежнему.

Режимный статус Новой Земли оказался во благо, поскольку позволил, хотя и невольно, сохранить в относительно приличном состоянии большую часть архипелага с его уникальными природными комплексами, включающими южную и северную арктические тундры и полярные пустыни высокоширотной Арктики.

В заключение остается сказать — живет еще природа Но-



Истинный хозяин Арктики — частый, но нежеланный гость арктических поселков. «Визиты» медведя чаще случаются в ноябре—феврале.



Белошекая казарка со слетками.

вой Земли, не до конца погублена стараниями человеческими. Но только дай волю нынешнему «деловому человеку», пусти сюда газозаводов, нефтяников, сборщиков гагачьего пуха и им подобных «предпринимателей», гибель тундры — дело недолгое. Загубят вскорости то немного,

что еще осталось недобитое, недотоптанное, незахламленное человеком. Заповедник нужен на Новой Земле, срочно, незамедлительно. Иначе поздно будет, потеряем природную жемчужину нашей высокоширотной Арктики, и потеряем безвозвратно. ■



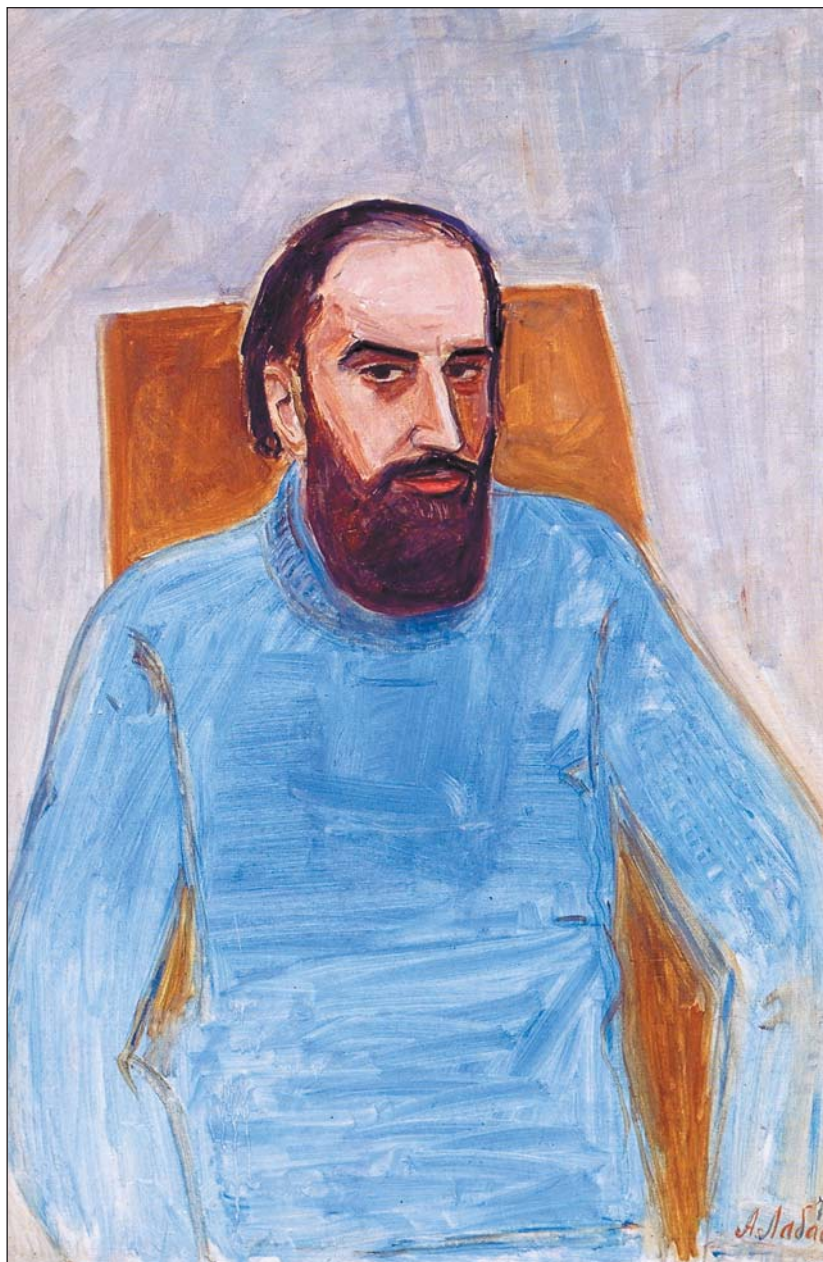
# Необычайно одаренная личность

М.Д.Голубовский

**Е**сть люди, в равной степени наделенные творческими способностями и к науке, и к искусству. Химик и композитор П.Бородин, биологи и художники Р.Л.Берг и Л.И.Корочкин. К этой же когорте относился и Юлий Александрович Лабас, имя которого хорошо знакомо биологам самого широкого круга. Он сочетал в себе блестящего экспериментатора и теоретика. Его интересовали цитофизиология клетки и фотобиология, медицинская биофизика и теория эволюции. Даже по такому формальному признаку, как индекс цитирования за последние 5—7 лет, имя Лабаса входит в первую десятку биологов России.

В то же время его отличало органичное слияние научного («рацио») и художественного, эмоционально-интуитивного восприятия, видения и познания мира. Он мог без особой подготовки выступить с лекцией, написать яркую научно-популярную статью. Знал на память горы стихов русских и немецких поэтов и мгновенно извлекал из кладовой своей памяти точную поэтическую метафору к разным событиям в науке и жизни. Этими способностями Юлий Александрович во многом обязан своей родословной — рождению и воспитанию в мире художественной интеллигенции.

Дед Юлия Александровича по материнской линии — земский



Портрет Юрия Александровича Лабаса, написанный его отцом в 1974 г.

врач, почетный гражданин Витебска Вениамин Идельсон. Он окончил Берлинский университет, где и познакомился со своей будущей женой, преподавателем английского языка. Обе дочери Идельсона, Александра и Раиса, получили прекрасное образование, владели тремя европейскими языками и проявили себя одаренными художественными натурами. Александра (А.В.Азарх-Грановская) стала известной актрисой, женой режиссера и основателя еврейского камерного театра А.М.Грановского. Раиса Идельсон (мать Юлия Александровича) обучалась живописи в Витебске, в одной группе с Марком Шагалом, а затем в Москве во Вхутемасе. Там она соединила свою судьбу с известным художником Р.Фальком и уехала вместе с ним в Париж. Вернувшись в Москву, она вскоре вышла замуж за другого известного художника, А.А.Лабаса.

О своих родителях и об окружении, в котором вырос, Юлий Александрович рассказал в захватывающей книге воспоминаний «Когда я был большой» («Новый хронограф». М., 2008). Отец и мать в равной степени повлияли на становление личности Лабаса. Сам он вспоминал:

*Я выбрал биологию, как и многие мои коллеги, в пятишестилетнем возрасте. Отец любил и знал природу. Он ловил мне головастики и лягушек, рассказывал, как происходит их развитие. Помню золотистые глаза первой такой пойманной лягушки, пойманных уже мной стрекоз и ящериц на даче, станция «Отдых» Казанской ж.д. Помню незабываемые впечатления от болотной жизни — опять прогулки с отцом. <...> Появился аквариум с верховками и вуалехвосткой. Так все и определилось. У меня все еще хранится «Зоология позвоночных» Кашкарова и Станчинского, которую один из авторов подарил мне задолго до войны.*

*Но я и рисовал. В эвакуации, в Ташкенте, участвовал в детских выставках. Удостоился*

*хвалебных рецензий в газетах. Выставка поехала в США. Успехи после возвращения продолжались, были еще выставки. Потом, помнится, Фальк мне сказал, что на меня дурно влияет отец. Отец, напротив, рекомендовал не поддаваться влиянию Р.Фалька. И в четырнадцать лет я, действительно, перестал рисовать.*

*А интерес к биологии никогда не прерывался. В Средней Азии получил громадное впечатление от тамошней фауны, особенно от медведек, скорпионов, сальпуг, гекконов, летучих мышей. Читал с увлечением еще в эвакуации «Изменение животных и растений в домашнем состоянии» Ч.Дарвина. Эта книга у меня сейчас в лаборатории стоит. В школьные годы я слушал лекции по палеонтологии беспозвоночных Марии Александровны Болховитиновой в Геолого-разведочном институте им.Орджоникидзе. А орнитологическую подготовку получал от старика-старобрядца с Птичьего рынка. Голоса птиц запоминал с 4—5-го класса\*.*

Формальная научная карьера Юлия Александровича оказалась трудной и парадоксальной. Мечтая стать биологом, он в 50-е годы не имел шансов поступить в Московский университет. Это было время «дела врачей» и вакханалии «пятого пункта», ограничивающего евреев допуск в лучшие вузы СССР. Лабас стал студентом ихтиологического отделения Мосрыбвтуза (вуза, который в 50-е годы был прибежищем для тех, кому был закрыт путь в университет). Лабасу-студенту повезло с наставниками и друзьями. Ему покровительствовал видный зоолог-протистолог С.В.Аверинцев (отец известного культуролога С.С.Аверинцева), открыватель цикломорфоза у раковинных корненожек. Одноклассник и друг Лабаса, будущий знаменитый эволюционный биолог Н.Н.Воронцов, ввел Юлия Александровича в биоки-

бернетический семинар, прошедший на дому у выдающегося математика Алексея Андреевича Ляпунова. Благородная, страстная и порывистая натура Ляпунова, его широкие естественнонаучные и натурфилософские интересы привлекли в середине 1950-х годов в этот семинар научную элиту того времени. Из этого домашнего университета вышли все будущие основатели Института проблем передачи информации РАН. Научный союз Ляпунова и Н.В.Тимофеева-Ресовского стал настоящей школой для многих генетиков, эволюционных и молекулярных биологов, а также для биоинформатиков, хорошо известных ныне в Новосибирске.

Вот как написал об этом времени сам Лабас.

*...В 1953 г. начал посещать квартирный Ляпуновский семинар. Влюбился в лекции М.М.Бонгарта и Ярбуса. «Заболел» проблемой: как распознаются зрительные образы, в частности как рыба зрительно узнает «сдобное», если щука клюет на блесну? Начитался этологов. Придумал и сконструировал прибор, который позволял одновременно автоматически считать число прикосновений мальков лосося к каждой из пяти одновременно предъявленных приманок, отличающихся только по одному инвариантному признаку. <...>*

*Так доказал принцип выбора по отношению к сходству с неким «идеалом». Скажем, если привычная пища была коричневой, избирается самый насыщенный красный, а если просто светлее или темнее фона, — белый или черный, фон предпочтается минимально контрастный, пока рыбы сыты, и, наоборот, самый контрастный, если очень голодны.*

*<...> Мую работу очень хвалили Л.В.Крушинский и А.М.Уголев. Хотели сразу представить к степени, но тогда это было не в моде\*\*.*

\* Из интервью с М.Потаповым.

\*\* Из письма М.Д.Голубовскому. 2006 г.



Раиса Вениаминовна Идельсон. «Она была художница, ученица Роберта Рафаиловича Фалька, и поэтесса, писавшая, впрочем, как и многие тогда, «в стол». При ее жизни ни строчки ее стихов не было издано» (Ю.А.Лабас. «Когда я был большой». С.17).

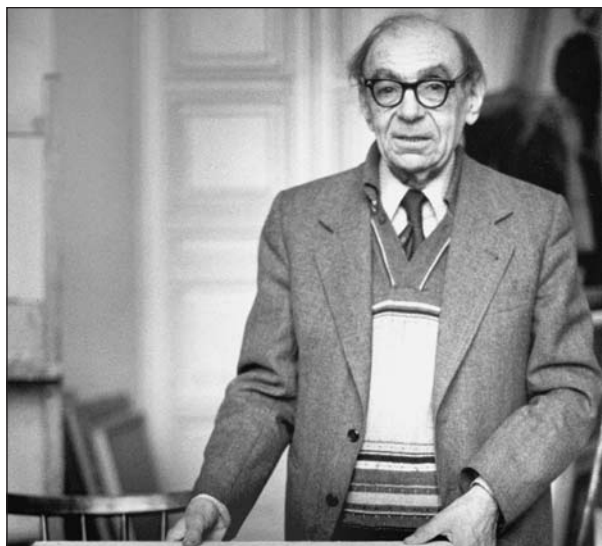
Все иллюстрации из семейного архива.

Р.Р.Фальк с учениками. Слева направо: Л.Я.Зевин, Р.В.Идельсон, И.Р.Бескин. Второй ряд: Р.Р.Фальк, Д.А.Марачев. Третий ряд: А.Б.Волхонский, С.С.Рувинсон, М.А.Кунин, Ф.С.Рабкина. 1922 г.

«Я очень подружился с Фальком. Он играл в шахматы, собирал грибы (даже во Франции), играл с листа Баха, Малера, Бетховена и декламировал наизусть стихи, особенно часто в оригинале Райнера Марию Рильке, любовью к которому от Фалька заразился и я» (Там же. С.137).

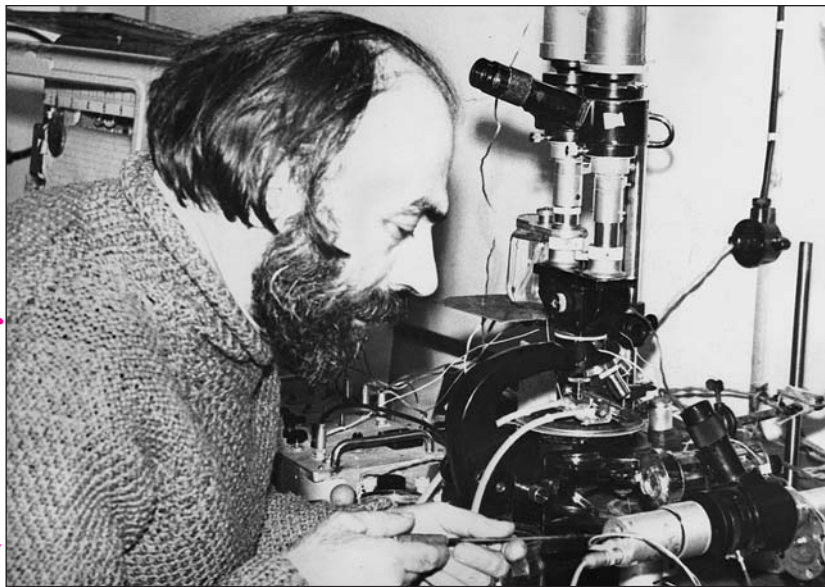


Александр Аркадьевич Лабас. «Отцом написано разной техникой (маслом, акварелью, гуашью, карандашом) немало портретов. Еще больше — урбанистических пейзажей. <...> Но все-таки главное и основное в его творчестве — стремительный бег и полет всевозможных самодвижущихся механизмов XX в.» (Там же. С.14).



«Пейзаж с верблюдом». Юра Лабас. Акварель. 1943 г. Этот и другие рисунки юного художника были опубликованы в книге «Дети мира рисуют» (Нью-Йорк, 1943).





«На Белом море я сконструировал первым в мире микроустановку, позволяющую синхронно писать клеточные движения, например, биение ресничек, рост верхушек у гидроидных полипов, на другом канале — клеточный  $Ca^{2+}$  (по биолюминесценции в работе на гребневиках) и внутриклеточные потенциалы (на 3-м канале)». Из письма М.Д.Голубовскому. 2006 г.

Итак, на ляпуновском семинаре в душу Лабаса сильнее всего «запали» доклады математика и биофизика М.М.Бонгарда о принципах распознавания образов. Аргументировалась идея, что любому видимому объекту соответствуют комбинации его инвариантных признаков (замкнутая или разомкнутая фигура, круг — эллипс, линии — вертикальные, косые или горизонтальные, движение — влево-вправо-вверх-вниз). В лекциях Бонгарда Лабас как бы уловил высказывание Платона о предсуществовании в мозге абстрактных идей и структур. Юлий Александрович предположил, что в мозге есть программы распознавания не только самих образов, но также их относительного сходства. Это следовало из работ этолога Лоренца, Тинбергена, Фриша.

Желая получить ответ на внешне простые, но глубокие вопросы, Лабас сконструировал оригинальный автоматический прибор для распознавания цвета и первый количественно оце-

нил у мальков рыб эффект выбора по относительному, даже отдаленному сходству. Дипломное исследование Лабаса вышло в 1959 г. по-французски в сборнике под эгидой известного зоолога Реми Шовена. Юлий Александрович с удивлением признавался, что когда в 1990 г. он докладывал эту свою давнюю работу, она воспринималась как новаторская.

Но вернемся к началу творческого пути. Тогда Лабаса увлекла задача найти в мозге (хотя бы у рыб) нейроны, отвечающие за относительные признаки: соотношение красного с зеленым, компактность геометрических фигур, их векторы движения. Он поступил в аспирантуру Института физиологии в Колтушах, в лабораторию видного физиолога А.Д.Слонима. Но тут, по словам Юлия Александровича, он «попал как кур в ощип», услышав приговор шефа: «Вы из ненавистной мне породы людей, мечтающих сделать открытие».

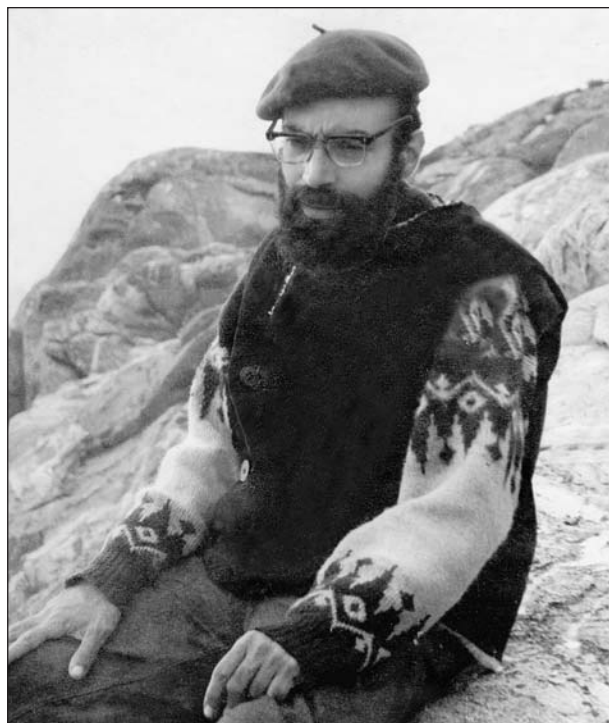
..Я же угодил к бывшему шефу и злейшему врагу Уголева

А.Д.Слониму, который всю мою работу, несмотря на публикации, объявил ерундой, а мне предложил заняться особенностями «двигательного компонента акта еды у мышевидных грызунов с разной экологической специализацией». Он был уверен, что я тотчас уйду, а я смалодушничал. Сконструировал сложнейшую электронную установку, которая с помощью укрепленного на черепе животного крохотного датчика ЭДС Холла и микромагнетика, вживленного в нижнюю челюсть (впервые такое применение), позволяла в условиях свободного поведения писать малейшие движения нижней челюсти мышей, полевок и т.д.

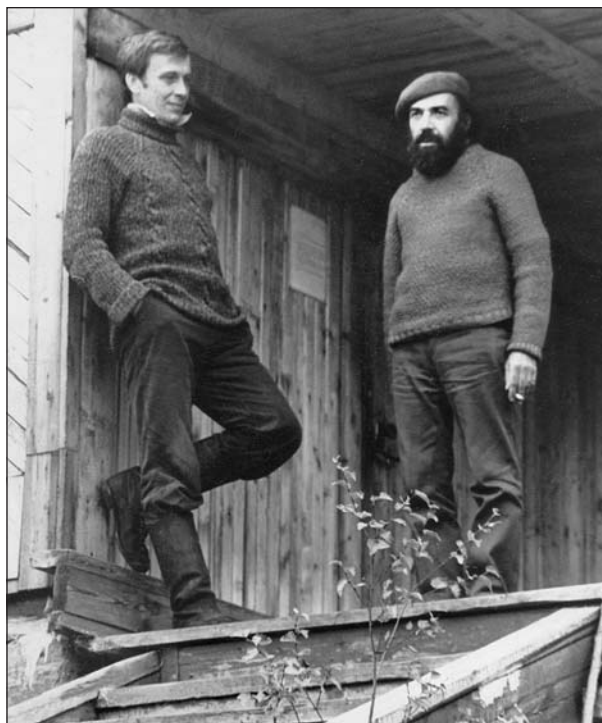
Выдохнутый воздух теплее вдохнутого. Это позволило мне в замкнутой камере фотоэлектрическим микробарометром (тоже мое изобретение) писать дыхательные движения. На 3-ем канале самописца писалась ЭМГ от электродов, вживленных в жевательные мышцы. Параллельно регистрировалось и потребление кислорода. Несколько лет трудов, здоровенный кирпич — 650 стр. никому не нужной единогласно защищенной диссертации и... моя первая жена отнесла мои бумаги в ЗИН моему другу Хлебовичу...

Как вспоминает Хлебович, когда они в конце 60-х годов приехали в Москву, их встретила группа специалистов, занимающихся космическими исследованиями. Они не могли запустить установку, описанную в диссертации Лабаса, без консультации автора.

Итак, спустя несколько зря потраченных лет Лабас перешел на работу в ЗИН (Зоологический институт АН в Ленинграде), в лабораторию В.В.Хлебовича на Беломорской биостанции. Там Юлий Александрович участвовал в работах по осморегуляции, адаптациям к повышенному содержанию солей в морской воде и нейросекреции. Часто помогал ихтиологам: например, предложил выложить на дно ак-



Счастливые времена на Беломорской биостанции. 1970 г.



На мысе Картеш (Белое море) с А.Н.Летуновым. 1976 г.



На Беломорской биостанции МГУ. Слева направо: Г.М.Беляев (ИОАН, редактор «Зоологического журнала»), Н.А.Перцов (директор ББС МГУ), Б.Я.Виленкин (ИОАН), Ю.А.Лабас (ББС ЗИН), А.В.Иванов (ЗИН), В.В.Хлебович (ББС ЗИН). 1971 г.



На даче с любимой собакой Гердой и другом И.А.Романовским. 2004 г.

вариума зеленый материал, что сразу успокоило разбушевавшуюся молодь семги. Но главным увлечением были гребневники.

На ББС в специально построенном домике на скальном основании, избавляющем от малейших сотрясений, он создал уникальную установку, одновременно регистрирующую электрическую и механическую активность гребных пластинок, а также сопряженную люминесценцию. На основании этих наблюдений было высказано положение, что биолюминесценция морских организмов первично возникла как нейтрализация появляющихся в клетках перекисных состояний и только потом приобрела сигнальную или отпугивающую функцию. На гидроидах Юлий Александрович переоткрыл и подробно исследовал их пульсирующий рост, впервые отмеченный на беломорских видах К.К.Сент-Илером.

На биостанции Лабас проработал до 1983 г., называя этот период самым счастливым в своей жизни. Зоологический институт, построенный в XVIII в. в самом красивом ландшафтном уголке Петербурга, на стрелке Васильевского острова, имеет

и особую духовную атмосферу, приобщая к вечному и высокому. Здесь учат и люди — «хранители тайны и веры», — и собранные поколениями зоологов коллекции, и традиции, и книги, и даже стены. В конце 1950-х годов в ЗИНе подобралась группа блестящих молодых зоологов, многие из которых впоследствии стали именитыми биологами (Н.Н.Воронцов, Я.И.Старобогатов, А.В.Жирмунский, К.Н.Несис, В.В.Хлебович, С.Д.Степаньянц). В этот же период в недрах ЗИНа сложился и остов будущего Института цитологии во главе с его первым директором Д.Н.Насоновым.

В 1976 г. Лабас совместно со своим коллегой и другом Хлебовичем публикует в сборнике работ ЗИНа большую концептуально-обзорную статью под названием «Фенотипическое окно генома и прогрессивная эволюция». Эта статья была очень дорога Юлию Александровичу. Термин «фенотипическое окно» генома, предложенный А.С.Серебровским, Лабас и Хлебович рассмотрели в широких рамках эволюционной физиологической генетики и связали принципы регуляции генной активности с наблюдаемой морфогене-

тической дискретностью в онтогенезе эволюции с действием прямого и ассоциированного отбора и такими важными для зоолога проблемами, как акклиматизация, ответ организмов на стресс, многообразие жизненных форм. Один из выводов этой работы и сейчас звучит вполне современно: *«геном как единое целое представляет собой (на уровне подвергающейся ассоциирующему естественно-му отбору популяции) обучающуюся систему, способную решать логические задачи, основанные на дихотомических выборах — «да»—«нет».*

Геном «помнит» прошлый опыт проб и ошибок и способен в ответ на вызов среды выбрать адаптивный ответ. В геноме, полагал Лабас, есть некий аналог поисковых систем Интернета, который подбирает файлы («спящие» гены и программы) под конкретную задачу. На вызов среды наследственная система отвечает взрывом не какой попало изменчивости, а селективным поиском («целевая функция»). Основную роль в селективной активации архивируемых генов Лабас приписывал широко распространенным в геномах разных видов дупликациям локусов и сегментов хромосом.

Это предположение почти полностью оправдалось в случае отбора одноклеточных паразитов и соматических клеток на устойчивость к цитостатикам, а также насекомых к инсектицидам. Клетки или организмы, на которые действует подобный отбор, нередко защищаются селективным умножением (амплификацией) сегментов хромосом, содержащих ген(ы), обеспечивающий выживание в селективных стресс-условиях. Многократно дублированные сегменты (ампликоны) могут принимать разное воплощение, от копий-танDEMов до цитоплазмических самореплицирующихся плазмид. При прекращении отбора число умноженных копий резко падает, и падает ус-

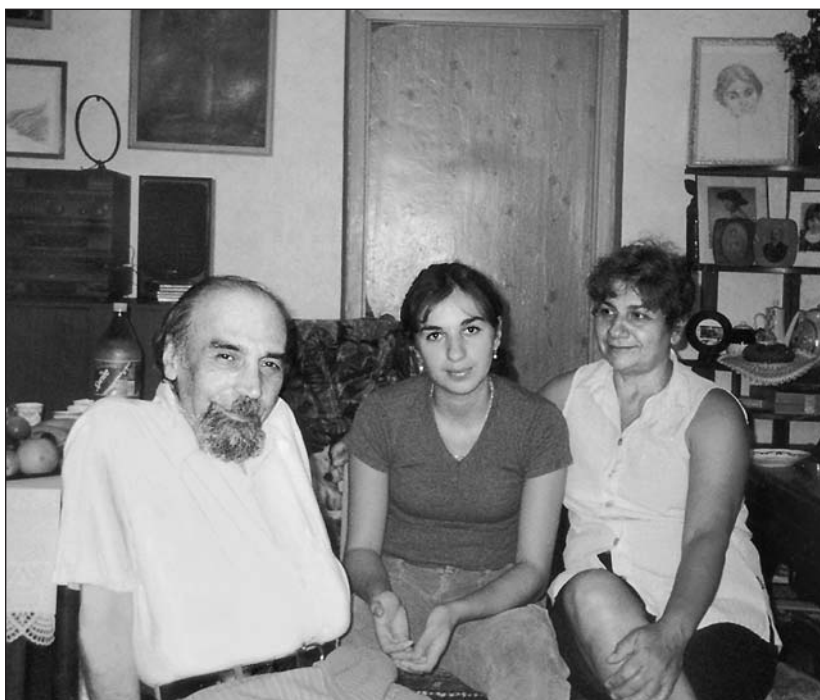
тойчивость к данному стресс-фактору. Однако некоторая часть умноженных копий все же остается («архивируется»). При повторном отборе устойчивость к действующему ранее селективному фактору возрастает ускоренными темпами за счет сохранившихся в архивах генома дубликантов. Иными словами, возникает своего рода ампликонная память генома!

Самым плодотворным в творческой деятельности Лабаса оказалось последнее десятилетие его жизни. В это время он отыскивал экспериментальные подходы к решению двух загадок, которые сам Чарльз Дарвин относил к труднейшим в теории эволюции путем естественного отбора: возникновение свечения и электрических органов у разных организмов. Лабасу принадлежит важная роль в одном из крупнейших открытий в эволюционной биохимии XX в. — выяснению разнообразия структуры и функции семейства GFP-белков (или зеленых флуоресцирующих белков), ответственных за биолюминесценцию многих видов в разных классах кишечнополостных и у гребневиков. На основе эволюционных идей Лабаса и при его непосредственном изобретательном участии группа молекулярных биологов под руководством С.А. Лукьянова в конце 1990-х удачно провела поиски новых необычных по свечению флуоресцирующих белков семейства GFP у десятков видов кишечнополостных. Гены этих белков клонировали, и они стали основой для генно-инженерных конструкций, позволяющих воочию наблюдать ход развития: в каких клетках, в какое время и с какой интенсивностью активируются и взаимодействуют в онтогенезе самые разные локусы.

Роль этого открытия в биологии по праву сравнивают с применением изотопов. Незабываемое впечатление производит приведенный в одной из работ Лабаса с коллегами снимок голо-



На выставке отца. 2002 г.



Дома с семьей, с дочерью Алисой и женой Р.Ш.Лабас. 1998 г.

вастика лягушки, которому на стадии восьми клеток в левый спинной бластомер ввели красную флуоресцентную метку, а в правый — зеленую\*. Выросший головастик стал двуцветным

\* Лабас Ю.А., Гордеева А.В. Незагаданная Дарвином биолюминесценция // Природа. 2003. №2. С.25—31. См. также: Лабас Ю.А., Гордеева А.В., Фрадков А.Ф. Флуоресцирующие и цветные белки // Природа. 2003. №3. С.33—43.

с желтой продольной линией точно по оси симметрии (Nature Biotechnol. 1999. V.17. №10).

В 1995 г., изучая биолюминесценцию у гребневиков, Лабас предположил, что биолюминесцентные системы произошли скорее всего от антиоксидантных систем, защищающих клетки от генерируемых ими же активных форм кислорода, которые используются для борьбы



с бактериями\*. Биохимически активное «одеяние» впервые удалось визуализировать с помощью красителей-антиоксидантов. Это открытие повело к важному эволюционному выводу: механизмы генерации активных форм кислорода наружными поверхностями водных организмов в принципе те же, что их генерация слизистыми оболочками, клетками крови и лимфой позвоночных.

Лабас истолковал происхождение биолюминесценции на основе известного в теории эволюции принципа смены функций. Свечение как побочное следствие автозащиты от активных форм кислорода возникло задолго до того, как оно у многих организмов стало выполнять и некоторые сигнальные адаптивные функции — для привлечения сородичей, отпугивания врагов или создания защитного экрана для внутриклеточных симбионтов зооксантелл у кораллов.

На склоне лет Лабасу стала ясна громадная и возможно неразрешимая сложность проблемы: *«Природа, создавая все более сложные нервные системы, шла своим эволюционным путем, и уровень понимания наукой работы мозга даже в наши дни продолжает оставаться примитивным. Аналогия с компьютером остается аналогией... Нервные клетки и их связи устроены совсем не так, как микромодули компьютера и совершенно по иному принципу взаимодействуют. Программы, по которым работает мозг, составлялись эволюцией, и мы, пытаясь их понять, часто упираемся в глухую стену».*

Одна из любимых метафор Лабаса состояла в том, что если бы некие пришельцы-инопланетяне в начале XX в. доставили бы на Землю ноутбуки, то земля-

\* Лабас Ю.А., Гордеева А.В., Наглер Л.Г. Незримое одеяние голых тварей // Природа. 2006. №12. С.3—10.

не никакими известными в то время методами не разгадали бы тайну их устройства, поскольку перед собой имели лишь готовый прибор и не представляли всей предыдущей многолетней культурно-информационной истории и целей его создания. Точно так же, полагал Юлий Александрович, для нас пока неведомы сложившиеся за миллионы лет эволюции принципы устройства и функционирования живых систем, даже на их клеточном уровне.

Образ Юлия Александровича Лабаса был бы неполным, если не упомянуть о взрыве его социальной активности в период перестройки конца 1980-х годов — времени надежд и упований, но и периода, когда финансирование науки практически прекратилось. В эти годы Лабас пишет книгу «Этот безумный, безумный мир глазами зоопсихологов», которая представлена ныне в Интернете и до сих пор дискутируется ([www.ethology.ru](http://www.ethology.ru)). Здесь он высказывает интересное предположение, что поражающее разнообразие языков у человека связано не только с относительной изоляцией и дивергенцией человеческих популяций, но и резко усиливалось за счет культурной эволюции, свойственной только человеку. Языковое разнообразие косвенно связано с тем, что человек — это единственный вид, живущий на уровне локальных популяций, постоянно воюющих друг с другом. Поэтому было выгодно общаться сигналами, которые не понимают враги (на о.Новая Гвинея, где практиковалось людоедство, выделяют до 800 языков). Лабас полагал, что первичная функция человеческой речи весьма неприглядна — аналог воровской «фени», непонятной «фраерам». И только затем (смена функций!) речью стали пользоваться для обучения потомков, передачи опыта и абстрактного мышления.

В середине 1990-х годов Юлий Александрович волею судьбы становится активным членом предвыборного штаба генерала А.Лебеда. Сам Юлий Александрович довольно жестко оценивал свои социальные искушения и соблазны, кончившиеся «крушением всех планов и надежд». В конце своей вышедшей в апреле 2008 г. мемуарной книги Лабас-биолог со свойственным ему метафоризмом дает такой диагноз современной стадии государственного онтогенеза: «Вместо склеротического старческого мозга государственным организмом стали править органы иммунитета: лимфоузлы и селезенки и ими же порожденные белые кровяные тельца-фагоциты. В медицине аналог такой патологии известен: организм собственные ткани начинает принимать за чужие и энергично разрушать фагоцитами. Конец обычно летален».

И все же несмотря на такой социальный пессимизм, Лабас буквально до последних дней продолжал творить. Как всегда, здесь проявлялись его неуемный, феерический темперамент, искрометность, необъятная ассоциативная память. Он всегда фонтанировал идеями и проектами, охотно и щедро делился ими со всеми, кому это интересно, ставил вопросы и создавал через Интернет незримые анастомозы между исследователями разных направлений, дисциплин и стран. Из госпиталя он активно вел через ноутбук дискуссии на темы эволюции, происхождения биолюминесценции, предлагал планы разных возможных экспериментов. Юлий Александрович оставался верен и своему дарованию, и призыву поэта — «не оставляйте стараний, маэстро, не убирайте ладони со лба».

С уходом его люминесцентной личности ландшафт тех областей российской биологии, в которых он творил, обеднел и потускнел. ■

# Новости науки

## Космические исследования

### Темная энергия «расталкивает» вещество

Как было установлено в конце XX в. по наблюдениям далеких сверхновых, Вселенная расширяется с ускорением, причиной которого считается «темная энергия». Впрочем, точнее ее было бы назвать невидимой. Это название отражало бы тот факт, что она недоступна (пока) для наблюдений никакими способами, кроме исследования истории космологического расширения Вселенной. Свойства темной энергии оказались весьма необычными: например, чтобы «расталкивать» Вселенную, она должна обладать отрицательным давлением. Установление природы темной энергии стало одной из главных задач современной физики.

Международная группа ученых под руководством А.А.Вихлинина (Институт космических исследований РАН, Гарвард-Смитсоновский астрофизический центр, США), в которую входят сотрудники ИКИ РАН и других научных организаций Европы и США, недавно опубликовала результаты исследований природы темной энергии по темпу роста крупномасштабной структуры Вселенной<sup>1</sup>. Основу работы составило изучение распределения массивных скоплений галактик в пространстве.

По мнению ученых, темная энергия должна оказывать существенное влияние на рост крупномасштабной структуры. Она противодействует силе гравита-

<sup>1</sup> Vikblin et al. // The Astrophysical Journal. 2009. V.692. P.1033—1059.

ционного притяжения материи и потому препятствует образованию сгущений вещества на больших расстояниях. В максимальной степени это отражается на скорости образования самых массивных объектов Вселенной — скоплений галактик, которые содержат тысячи галактик, подобных нашей, и могут иметь массы порядка  $10^{14} M_{\odot}$ .

В течение нескольких лет учеными было обнаружено и подробно исследовано 86 наиболее массивных скоплений галактик во Вселенной, находящихся на разных расстояниях от Млечного пути (от сотен миллионов до нескольких миллиардов световых лет). Большая часть скоплений открыта по данным рентгеновского телескопа ROSAT (Германия, NASA), а расстояния до них измерялись с помощью десятка оптических телескопов по всему миру («Keck», «Magellan», NTT и др.). Немалое число наблюдений было выполнено также на Российско-Турецком 1,5-метровом телескопе RTT-150 (установлен в Турции на горе Бакырлытепе, в 60 км от г.Анталья). Главный вклад в работу (точные измерения масс скоплений) сделан благодаря орбитальной рентгеновской обсерватории «Chandra» (США).

На основе полученных данных авторы работы восстановили картину развития Вселенной во времени. Измерив количество массивных скоплений в единице объема в зависимости от их удаленности от нас, они построили картину роста крупномасштабной структуры начиная примерно с 2/3 возраста Вселенной до настоящего времени, т.е. за последние 5,5 млрд лет (что несколько превышает воз-

раст Солнца). Результаты исследования показали, что рост крупномасштабной структуры в течение этого времени существенно замедлился. Величина замедления свидетельствует, что оно происходит вследствие взаимодействия крупномасштабной структуры Вселенной с темной энергией.

Итак, независимым способом получено новое подтверждение ускоренного расширения Вселенной. Очень важно, что новый способ, основанный на измерении скорости роста крупномасштабной структуры Вселенной, приводит к тому же результату, что и прежний метод, основанный на измерении расстояний до объектов по их красным смещениям.

Другое важное следствие работы связано с уточнением параметров темной энергии. Ее свойства могут быть удобным образом выражены одним числом — параметром уравнения состояния, имеющим физический смысл, сходный с жесткостью пружины. Эта величина описывает силу, с которой темная энергия «расталкивает» вещество. Новые данные о темпе роста крупномасштабной структуры Вселенной в сочетании с другими экспериментальными данными (по изучению сверхновых, микроволновому фону и барионным акустическим осцилляциям) позволяет получить наиболее точную на сегодняшний день оценку этого параметра (он с точностью около 5% согласуется с наличием космологической постоянной в уравнении Эйнштейна).

По сообщению Пресс-службы Института космических исследований РАН. Январь 2009 г. (Россия); www.iki.rssi.ru

**Астрономия**

**Переопределены параметры вращения нашей Галактики**

Изменения оценок базовых астрономических параметров происходят не очень часто, но все-таки происходят. Об одном из таких изменений сообщили на январской конференции Американского астрономического общества М.Рейд (M.Reid; Гарвардский астрофизический центр, США) и его коллеги. Объектом их внимания стала кривая вращения нашей Галактики.

В последние несколько лет Рейд с соавторами организовали масштабный проект по определению расстояний до областей образования массивных звезд. Для этого используется классический метод тригонометрических параллакс, однако примененный не к звездам, а к точечным источникам радиоизлучения — мазерам. Работа в радиодиапазоне позволяет применять интерферометрические методы, с помощью которых небесные координаты источника определяются с точностью в 100 раз лучшей, чем доступно для оптических методов. Соответственно, параллактическое смещение удастся обнаружить для существенно более далеких источников.

Используя радиоинтерферометрическую систему со сверхдлинной базой VLBA авторы работы определили точные положения мазеров в 18 областях звездообразования, а также собственные движения мазеров, расстояния до них и их лучевые скорости. Таких данных достаточно, чтобы построить трехмерную карту движения областей звездообразования в Галактике, попутно определив скорость вращения галактического диска в целом. Результат этого измерения как раз и привел к пересмотру одного из основных параметров галактической астрономии — скорости движения

Солнца вокруг центра Галактики: вместо прежних 220 км/с получено существенно большее значение — почти 270 км/с!

Такое увеличение скорости означает, что в сторону возрастания придется пересмотреть и массу Млечного Пути. Ранее сравнение звездных масс Млечного Пути и туманности Андромеды привело астрономов к заключению, что эта ближайшая к нам крупная галактика массивнее нашей примерно на 50%. Однако новая оценка массы Млечного Пути основана на кинематике и потому включает все гравитирующее вещество, не только «светящееся», но и темное. Достоверности ей добавляет тот факт, что она совпадает с такой же повышенной оценкой, которая была получена два года назад М.Уилкинсоном (M.Wilkinson, Кембриджский университет, Великобритания) и его коллегами на основе данных по движению галактик-спутников Млечного Пути. Теперь можно уже уверенно сказать, что по массе Млечный Путь и туманность Андромеды мало отличаются друг от друга. Но исходя из различия звездного состава приходится, видимо, сделать вывод, что по каким-то причинам наша Галактика более богата темным веществом.

Попутно ученым удалось существенно уточнить расположение спиральных ветвей Галактики, поскольку ветви отчасти прослеживаются именно по областям звездообразования, а новые точные оценки расстояния до этих областей иногда отличаются от прежних косвенных оценок в два раза.

<http://arxiv.org/abs/0902.3913>

**Астрономия**

**Свершения и планы радиоастрономии**

Астрономы всего мира питают большие надежды в связи с предстоящим вводом в строй интерферометра субмиллимет-

рового диапазона ALMA, создаваемого консорциумом европейских, американских и японских фирм. В декабре 2008 г. проект прошел важную веху — в обсерваторию, расположенную в Чилийских Андах, была доставлена первая 12-метровая антенна.

Субмиллиметровый диапазон очень информативен, однако наблюдения в нем крайне сложны. Во-первых, в субмиллиметровых антеннах «радиоастрономические» требования к большим размерам антенны сочетаются с почти «оптическими» требованиями к качеству поверхности. Во-вторых, земная атмосфера в субмиллиметровом диапазоне очень непрозрачна, поэтому наблюдения можно проводить лишь в очень высоких и потому крайне труднодоступных местах.

Первая антенна была изготовлена корпорацией «Mitsubishi Electric» по заказу Национальной астрономической обсерватории Японии; вскоре к ней присоединятся антенны европейского и американского партнеров<sup>1</sup>. Они уже изготовлены и сейчас проходят тестирование. Всего в составе интерферометра ALMA будет 66 антенн: пятьдесят 12-метровых «тарелок» в самом интерферометре, а остальные (семи- и 12-метровые) — в составе более компактной вспомогательной системы. Полный поперечник всей системы антенн составит около 16 км.

Прибытие первой антенны означает, что сотрудники обсерватории могут приступить фактически уже к непосредственной подготовке наблюдений, в первую очередь — к установке приемников излучения и тестированию всего комплекса аппаратуры телескопа. Тестирование будет проводиться в центре управления телескопом на высоте 2900 м, а затем антенны доставят собственно на пло-

<sup>1</sup> [http://www.spacedaily.com/reports/ALMA\\_Observatory\\_Equipped\\_With\\_Its\\_First\\_Antenna\\_999.html](http://www.spacedaily.com/reports/ALMA_Observatory_Equipped_With_Its_First_Antenna_999.html)

щадку ALMA, расположенную на высоте 5000 м, где исключительная сухость воздуха обеспечивает наилучшие условия для субмиллиметровых наблюдений. Ожидается, что эксплуатация системы ALMA начнется уже в 2011 г.

Еще одна важная для радиоастрономии новость пришла из Китая<sup>1</sup>. Там официально начато строительство крупнейшего в мире радиотелескопа FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope — Сферический телескоп с 500-метровой апертурой), предварительные работы по которому идут уже 14 лет. Как следует из названия, диаметр зеркала телескопа составит 500 м. Разумеется, изготовить полноповоротную систему такого размера при современных технологиях невозможно, поэтому для FAST будет использован тот же вариант установки, что и для известного радиотелескопа в Аресибо (Пуэрто-Рико): зеркало будет неподвижно лежать на земле, точнее в карстовом углублении, в провинции Гуйчжоу на юго-западе Китая. Эта малонаселенная и неразвитая в промышленном отношении местность предоставляет идеальные условия для наблюдений в радиодиапазоне, где все большим препятствием становятся помехи искусственного происхождения. Ожидается, что строительство будет завершено в 2013 г.

Одной из основных задач для нового инструмента станет поиск новых пульсаров. Создатели проекта уверены, что только за первый год наблюдений на FAST число известных пульсаров возрастет в несколько раз — с менее чем 2 тыс. до 10 тыс. Кроме того, телескоп будет использоваться для мониторинга искусственных спутников Земли и космического мусора.

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

<sup>1</sup> [http://www.spacedaily.com/reports/China\\_Starts\\_Work\\_On\\_Largest\\_Radio\\_Telescope\\_Ever\\_Built\\_999.html](http://www.spacedaily.com/reports/China_Starts_Work_On_Largest_Radio_Telescope_Ever_Built_999.html)

## Физика

### Визуализация динамики атомов и молекул на графене

Наблюдение атомов и молекул стало возможным после изобретения в 1982 г. сканирующего туннельного микроскопа. Однако его применимость ограничена типом материала (он должен быть проводящим), требованиями к чистоте исследуемой поверхности и низкой скорости сканирования.

В последние годы наблюдать отдельные примесные атомы (даже если они расположены внутри полупроводникового образца) научились и по более старой методике — просвечивающей электронной микроскопии. Однако увидеть удавалось лишь «тяжелые» (с большим атомным номером) атомы, легкие же (например, углерод, тем более — водород) «разглядеть» было нельзя из-за низкого контраста.

Недавно американские специалисты из Университета Калифорнии в Беркли и Национальной лаборатории Лоуренса в Беркли обнаружили, что это все-таки возможно — при условии, что атомы находятся на мембране из графена<sup>2</sup>. При этом отдельные адсорбированные атомы водорода и углерода, вакансии и углеродные цепочки видны так же отчетливо, как если бы они находились в пустом пространстве, поскольку из-за малой толщины графенового слоя и его идеальной кристаллической структуры он остается невидимым для электронного микроскопа (либо — при очень высоком разрешении — его вклад легко «вычитается»). Эффекты зарядки из-за воздействия электронного пучка несущественны благодаря хорошей электропроводности графена.

Исследователи наблюдали также движение адсорбированных на графене атомов и молекул в режиме реального времени

(из-за сильного взаимодействия адсорбентов с графеном скорость их перемещения составляла лишь ~10 нм/ч). Кроме того, экспериментаторы изучили динамику процесса аннигиляции вакансий с адсорбентами. Можно надеяться, что использование графена в подобных исследованиях позволит уже в ближайшее время понять детали некоторых химических реакций.

<http://perst.issp.ras.ru>  
(2008. Т.15. Вып.15/16).

## Физика

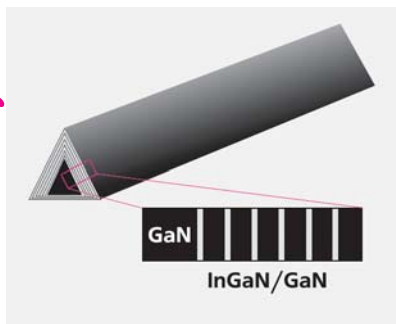
### Нанолазеры

Квазиодномерные структуры — полупроводниковые нанопровода — считаются перспективными кандидатами для изготовления лазеров. Уже демонстрировались их образцы на основе нанопроводов из бинарных полупроводников GaSb, ZnO, GaN, CdS, ZnS. Однако длину волны излучения таких лазеров (она определяется шириной запрещенной зоны материала нанопровода) нельзя изменять плавно — например, путем подачи потенциала на соответствующий электрод. Между тем в лазерах на основе квазидвумерных структур — нанолент Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>S и CdS<sub>1-y</sub>Se<sub>y</sub> — длину волны «подстраивать» удается.

Американские специалисты<sup>3</sup> предложили комбинировать в конструкции «нанолазеров» квазиодномерные и квазидвумерные элементы. Изготовленные ими гетероструктуры представляют собой нанопровода GaN с треугольным поперечным сечением, на гранях которых методом химического осаждения металлоорганических соединений из паровой фазы выращено (в зависимости от режима осаждения) от трех до 26 квантовых ям InGaN/GaN (толщина ям InGaN составляет 1–3 нм, толщина барьеров GaN — 1–40 нм). Просвечивающая электронная микроскопия показала, что гра-

<sup>2</sup> Meyer J.C. et al. // Nature. 2008. V.454. P.319–322.

<sup>3</sup> Qian F. et al. // Nature Mater. 2008. №7. P.701.



Схематическое изображение нанопровода GaN с треугольным сечением. На выноске показаны квантовые ямы InGaN/GaN на его боковых гранях.

ницы раздела InGaN/GaN атомарно плоские. При исследовании фотолюминесценции нанопроводов зарегистрировано излучение с длиной волны от 365 до 494 нм (ее величина зависит от содержания индия в ямах  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ).

Изготовленные квазиодномерные и квазидвумерные наноструктуры знаменуют собой выход твердотельной нанотехнологии на новый уровень сложности. Предполагается, что их можно будет использовать для изготовления инжекционных нанолазеров с регулируемой длиной волны.

<http://perst.issp.ras.ru>  
(2008. Т.15. Вып.18).

## Физика

### Сверхпроводимость силана $\text{SiH}_4$

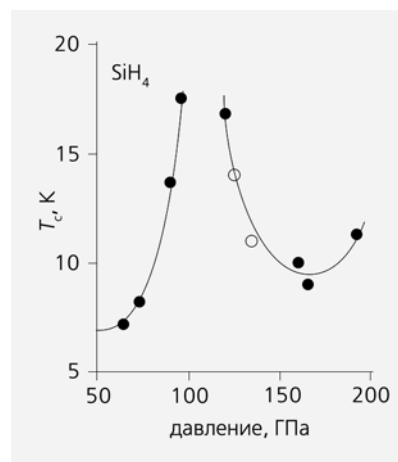
Теория предсказывает, что при давлении  $P \approx 400$  ГПа газобразный водород переходит в твердое металлическое состояние и даже становится высокотемпературным сверхпроводником (благодаря большой дебаевской частоте и сильному электрон-фононному взаимодействию). Однако такие высокие давления находятся пока за пределами возможностей исследователей. Альтернативный способ металлизации водорода — сжатие молекулярных веществ с большим его содержанием —

таких как  $\text{SiH}_4$  (силан),  $\text{CH}_4$ ,  $\text{GeH}_4$ ,  $\text{SnH}_4$  и т.п. В этих веществах электронная плотность на атомах водорода исходно очень высока вследствие так называемого химического сжатия, поэтому они могут стать металлами уже при  $P \approx 100$  ГПа.

Германо-канадская группа экспериментаторов (с участием нескольких наших соотечественников) показала<sup>1</sup>, что силан переходит в металлическое состояние при  $P \approx 50$  ГПа. Более того, при охлаждении наблюдается сверхпроводящий переход, температура которого с ростом давления увеличивается от 7 до 17.5 К, затем уменьшается и вновь начинает расти.

Анализ спектров рентгеновской дифракции показал, что металлическая фаза имеет гексагональную плотноупакованную структуру с двумя формульными единицами в элементарной ячейке и с высокой концентрацией атомов водорода, образующих трехмерную проводящую сетку. При  $P = 113$  ГПа периоды решетки равны  $a = b = 0.267$  нм,  $c = 0.449$  нм. Расстояние между атомами водорода составляет 0.154 нм в плоскости  $a-b$  и

<sup>1</sup> Eremets M.I. et al. // Science. 2008. V.319. P.1506.



Зависимость критической температуры  $T_c$  силана  $\text{SiH}_4$  от давления. Темные и светлые кружки — результаты, полученные при увеличении и уменьшении давления соответственно.

0.118 нм вдоль оси  $c$ . По мнению исследователей, резкий рост  $T_c$  в окрестности  $P \approx 100$  ГПа может быть связан с изменением поверхности Ферми, что влияет на электрон-фононное взаимодействие. Вид кривой  $T_c(P)$  при 90 ГПа  $< P < 120$  ГПа наводит на мысль, что в силане можно достичь гораздо более высоких величин  $T_c$ . Однако неконтролируемое изменение давления в процессе нагрузки не позволило ученым детально исследовать этот диапазон  $P$ . Между тем некоторые теоретики считают<sup>2</sup>, что  $T_c$  в  $\text{SiH}_4$  может достигать 80 К.

<http://perst.issp.ras.ru> (2008. Т.15. Вып.7).

## Физика. Химия

### Получение графенов в макроскопических количествах

Графены<sup>3</sup> — монослои атомов углерода — благодаря миниатюрным размерам в сочетании с хорошей электропроводностью, химической стабильностью и механической прочностью стали привлекательным объектом фундаментальных исследований и прикладного использования (в качестве основы нанoeлектронных и наномеханических устройств). Однако синтез графенов — очень сложный процесс, поэтому исследователи многих стран сосредоточили свои усилия на поиске методов получения этих материалов в макроскопических количествах.

Недавно большой группе специалистов из Ирландии и Англии удалось разработать процедуру выделения графенов с помощью органического растворителя N-метилпирролидона, в который вводился порошок мелкодисперсного графита<sup>4</sup>. В качестве растворителей испытывались также N,N-диметилацета-

<sup>2</sup> Chen J.X.J. et al. // arXiv:0803.2713v1.

<sup>3</sup> См.: Новые композитные материалы на основе графена // Природа. 2007. №2. С.75; Перспективы углеродных наноструктур // Там же. №9. С.81—82.

<sup>4</sup> Hernandez Y. et al. // Nature Nanotechnology. 2008. V.3. P.563—568.

мид, g-бутиролактон и 1.3-диметил-2-имидазолидинон. Суспензия, полученная в результате ультразвуковой обработки раствора, представляла собой однородную жидкость серого цвета с примесью некоторого количества макроскопических частиц, которые легко удалялись центрифугированием. Взаимодействие растворителей с частицами графита приводило к их расслоению с образованием плоских или изогнутых графеновых монослоев, а также двухслойных и многослойных графеновых структур. Их наблюдали с помощью просвечивающего электронного микроскопа.

Доля однослойных графеновых структур в исследованных образцах составила 28%, что соответствует массовому выходу графенов на уровне 1%. При многократном использовании суспензии их выход может составить около 10%.

<http://perst.issp.ras.ru>  
(2008. Т.15. Вып.18).

## Зоология

### Ящерицы и муравьи

Муравьи — самые многочисленные нелетающие насекомые, к тому же встречаются почти повсеместно. Понятно, что ящерицы сталкиваются с ними постоянно. А потому между этими двумя группами животных складываются разнообразные и непростые отношения.

Самое очевидное, казалось бы, — поедание муравьев ящерицами. Но муравьи воинственны, вооружены мощными челюстями и ядом, к тому же жесткие и малопитательные. Большинство ящериц такой добычей пренебрегают, хотя представители некоторых родов специализированы к поеданию именно муравьев, и их относят к мирмекофагам.

«Классические» мирмекофаги — североамериканские жабовидные ящерицы рода *Ptychocheilus*. Хорошо изучен целый ряд адаптаций фриносом к мирме-

кофагии. Но вопросы остаются. Ведь они поедают даже таких опасных муравьев, как представители рода *Pogonomyrma*. Последние вооружены мощными жвалами, с помощью которых дробят семена растений и дают отпор врагам. А еще обладают сильнейшим ядом и даже жалом, подобно осам. Как удаётся жабовидным ящерицам заглатывать — и в большом количестве! — этих муравьев и избегать при этом опасных повреждений нежных стенок ротовой полости и пищеварительного тракта?

Этот вопрос исследовали американские специалисты У.Шербрук и К.Швенк из Американского естественноисторического музея в Аризоне и Университета штата Коннектикут<sup>1</sup>. В лабораторных условиях они проводили скоростную видеосъемку процесса захватывания и заглатывания добычи у одного из самых известных видов фриносом — рогатой ящерицы *Phrynosoma macleayi* (в качестве добычи использовали сверчков такого же размера, как муравьи-погономирмесы). Кроме того, они исследовали анатомическое строение и гистологию глотки у этого и близких видов фриносом, а также проанализировали содержимое желудков рогатой ящерицы в природе.

Оказалось, что в желудки ящериц погономирмесы попадают совершенно целыми, но свернутыми — как эмбрионы — в клубочек и заключенными в слизистую капсулу. Травмы и отравление поверхностей пищеварительного тракта таким образом исключаются. Происходит же это благодаря, с одной стороны, уникальной кинематике заглатывания добычи, с другой — развитию складчатого эпителия глотки, вырабатывающего большое количество слизи. Фриносома захватывает муравья не челюстями, а языком. Впрочем, это свойственно всем игуаноморфным ящерицам.

<sup>1</sup> Sberbrooke W.C., Schwenk K. // Journal of Experimental Zoology. 2008. V.309A. №8. P.447—459.

Уникальность же заключается в том, что язык молниеносно — в течение 30 мкс — втягивается глубоко в пасть, и прилипшая к нему добыча оказывается сразу в основании глотки, где обволакивается слоем слизи. Все это происходит благодаря необычным для ящериц движениям мускулатуры языка и подъязычного аппарата.

Но не только ящерицы могут питаться муравьями. Иногда роли меняются, и ящерицы становятся жертвами муравьев. Особенно уязвимо их потомство.

Интересную связанную с этим экологическую систему исследовал тайваньский герпетолог Вен-Сан Хуанг из Национального музея естественных наук в Тайшунге<sup>2</sup>. Он изучал воздействие двух видов муравьев на кладки сцинковой ящерицы *Mabuia longicauda*. Один из этих муравьев — *Paratrechina longicornis* — комменсалист таких кладок: он их не повреждает и яиц не ест, но ему необходима влага, конденсирующаяся на скорлупе яиц. А вот второй вид — *Pheidole taivanensis* — питается яйцами. Наблюдения показали, что муравьи обоих видов активно разыскивают кладки мабуи. И судьба последних во многом зависит от того, какие муравьи доберутся до них первыми. Ведь безопасные для них *Paratrechina longicornis* сильнее хищных и не подпускают последних к гнездам ящерицы. Более того, даже если они добираются до кладок вторыми, все равно вытесняют *Pheidole taivanensis*. Но защитники не бескорыстны: исчерпав запасы конденсированной влаги, они покидают гнезда, которые вновь могут стать объектом нападения хищников.

Однако в целом этот комменсализм чрезвычайно выгоден мабуям. Исследования показали, что выживаемость яиц в кладках, которые были обнаружены муравьями *Paratrechina longicornis*, составляет 95%, в то время как в контрольных кладках <sup>2</sup> Wen-San Huang // Ecological Entomology. 2008. V.33. №4. P.555—559.

она оценивается в 65%, а в тех, до которых добрались хищники, — только 7%.

© Семенов Д.В.,  
кандидат биологических наук  
Москва

## Геодинамика

### Катастрофические провалы на горных массивах

А.Л.Стром (Институт динамики геосфер РАН, Москва) и М.Е.Грошев (Центр геодинамических исследований, Москва) представили свои соображения по вопросу о двух видах дислокаций в приводораздельных частях горных массивов; речь идет о нагорных грабен-провалах с амплитудами смещений в метры — первые десятки метров и кальдерообразных провалах глубиной в сотни метров. Коренное отличие этих дислокаций от разнообразных оползней и обвалов, при образовании которых большие объемы горных пород смещаются в «свободное пространство» долин, которые обрамляют разрушающиеся хребты, состоит в том, что в первом случае смещение происходит «внутри» горного массива. Где же тогда находится «свободное пространство», способное вместить «исчезнувший» объем?

Авторы проанализировали условия формирования нагорных грабен-провалов на примере дислокации Хонайхол, которая находится в северо-восточной части Таджикской депрессии, вблизи участка строительства Рагунской ГЭС. Хонайхол представляет собой грабен шириной 200—300 м и длиной около 1 км, расположенный в приводораздельной части хребта высотой 300—400 м над тальвегами (самыми низкими точками) обрамляющих его долин. При образовании этого грабена «исчезло» около 2% объема хребта, который сложен прочными крутопадающими меловыми песчаниками. Чтобы компенсировать дефицит такого объе-

ма, краевые части хребта выше уровня эрозионного вреза должны были бы разойтись на 7—8 м. Расчеты для двумерной модели показали, что во внутренних частях массива в случае сильного сейсмического воздействия возникают значительные деформации растяжения, которые в сочетании со знакопеременными вертикальными ускорениями в верхней части массива могут приводить к эффектам провала.

Намного более загадочны кальдерообразные провалы, наблюдаемые на сводах хребтов-антиклиналей (т.е. обращенных выпуклостью вверх); при площади в несколько квадратных километров они простираются на глубину в сотни метров. Ныне известны три подобных дислокации: структура Битут, образовавшаяся при катастрофическом Гоби-Алтайском землетрясении 1957 г. и доисторические дислокации Кызылкель и Джузумды в Центральном Тянь-Шане. Авторы считают неприемлемой предложенную некоторыми исследователями модель формирования структуры Битут, согласно которой «исчезновение» в недрах Земли около 100 млн м<sup>3</sup> горных пород компенсировалось клинообразным поднятием примерно на 3 м хребта Ихэ-Богдо шириной 17 м по обрамляющим его разломам. Непонятно, отмечают авторы, каким образом при кратковременной деформации (землетрясении), когда горные породы должны вести себя как твердое тело, моментально на очень ограниченном участке образовалась полость, в которую и произошло проседание блока в среднем на 250 м. Такой механизм еще менее реалистичен применительно к формированию намного более крупных дислокаций на Тянь-Шане.

Рассмотрев различные варианты, авторы предположили, что подобные провалы могут возникать при обрушении свода полости в ядре новейшей антиклинали, которая формируется в условиях расслоенной лито-

сферы. И на Тянь-Шане, и в Монголии, где новейшее горообразование связано с ростом складок основания в сильно деформированных и метаморфизованных комплексах, срыв верхней части коры мощностью в несколько километров может в определенных условиях приводить к отслаиванию свода антиклинали и формированию полости. Несмотря на «экзотичность» предложенного механизма, его авторы полагают, что он позволяет логично объяснить катастрофические кальдерообразные провалы на водоразделах хребтов-антиклиналей.

Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Тезисы докладов Всероссийской конференции. Т.1. М., 13—17 октября 2008 г. С.103—105.

## Сейсмодинамика

### Предвестники нестабильного смещения разлома

На основе лабораторных экспериментов, проведенных сотрудниками Государственной главной лаборатории сейсмодинамики Института геологии Сейсмологического бюро Китая (Ма Цзинь и др.) и Политехнического института Пекина (Ма Шаопэн), было показано, что соотношение между тепловым полем и полем деформаций может служить физической основой для использования спутниковых данных по инфракрасным излучениям или поверхностным термическим полям для анализа движений по разлому.

В экспериментах исследовались образцы пород с кулисообразным разломом. Изменения яркости поля инфракрасного излучения и термического поля синхронно регистрировались в процессе деформации образцов с помощью инфракрасного термо-фотограмметрического и контактного термометрического приборов. Для сбора цифровых изображений и последующего анализа данных с целью определить изменения полей перемещения и деформации

применялись цифровой CCD фотоаппарат и метод цифровой спектральной корреляции.

Выяснилось, что у кулисообразного разлома перед разрушением зон перемычек температура в них максимальна при сжатии и минимальна при растяжении. Методом цифровой спектральной корреляции было выявлено, что и средняя деформация в зонах перемычек максимальна при сжатии, а при растяжении минимальна. Это говорит о том, что противоположное состояние напряжений в зонах перемычек у такого разлома явно проявляется в термическом поле, при этом был определен признак, показывающий напряженное состояние образца.

Выявлены две стадии деформации в кулисообразном разломе: стадия накопления напряжений и проявления разрушений в зонах перемычек и стадия неустойчивого сдвига вдоль разлома. Соответственно этим стадиям меняется механизм нагревания — от нагрева вследствие деформации до нагрева вследствие трения. Изменение механизма нагревания сопровождается большим количеством предвестников. Три типа явлений наблюдаются в зонах перемычек перед неустойчивым сдвигом по разлому — падение температуры, быстрая флуктуация температуры и импульсное повышение температуры. За этими изменениями термического поля следует быстрое повышение температуры вдоль разлома; оно начинается за 2—3 с до неустойчивого смещения его крыльев, спад температуры в зонах перемычек наступает примерно за 20 с до неустойчивого смещения по разлому, а импульсное повышение температуры происходит на 10—20 с раньше смещения по разлому. Эти явления и могут служить предвестниками неустойчивого смещения крыльев разлома.

Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Тезисы докладов Всероссийской конференции. Т.1. М., 13—17 октября 2008 г. С.76—77.

## Археология

### Погребальный обряд как этноисторический источник

Для решения дискуссионного вопроса об этнокультурной принадлежности людей, погребенных в курганах скифского времени на Среднем Дону, большое значение имеет изучение погребального обряда, который специалисты относят к наиболее надежным этническим признакам любой древней культуры. Одни исследователи считают местное население Среднего Дона «нескифским» (это меланхлены, будины, гелоны, савроматы, упоминаемые Геродотом), другие — ираноязычными скифами; последней точки зрения придерживается в этом научном споре В.И.Гуляев (Институт археологии РАН). Он отмечает, что к настоящему времени на территории Среднего Дона (Воронежская и Белгородская области) за 100 лет раскопок всего исследовано около 200 курганных комплексов скифской эпохи, среди которых — почти полностью раскопанный Донской археологической экспедицией Института археологии РАН курганный могильник V—IV вв. до н.э., расположенный у сел Терновое и Колбино (90 км к югу от Воронежа). Проведенные здесь на 70 курганах комплексные работы (1993—2007) с участием антропологов, палеозоологов, палеоботаников, палеогеографов позволяют, по мнению Гуляева, реконструировать местный погребальный обряд и на этой основе прийти к определенным этноисторическим выводам.

Автор счел логичным сопоставить погребальные традиции Степной Скифии и Лесостепного Подонья, учитывая уже хорошо известный по литературным источникам погребальный обряд скифов Северного Причерноморья и опираясь на собственные представления о характере среднедонской культуры V—IV вв. до н.э.

В степной зоне у скифов основным типом погребальных сооружений в конце V и особенно в IV в. до н.э. были катакомбы, а в лесостепи Восточной Европы (от Днепра до Среднего Дона) — подкурганые ямы с деревянными конструкциями или деревянные гробницы на древнем горизонте. Обычно главным признаком истинной «скифскости» считается катакомба. Однако на протяжении около 300 лет (VII—V вв. до н.э.) у скифов как в степи, так и в лесостепи преобладали захоронения в ямах с деревянными конструкциями. Почему на рубеже V и IV вв. до н.э. произошел перелом, убедительно объяснить пока никто не может. Скорее всего, считает Гуляев, можно предполагать приток с востока в Северное Причерноморье новых кочевых — родственных скифам — групп и привнесение ими в местную среду собственных взглядов и установок, которые, однако, победили не везде: в лесостепи сохранился традиционный тип захоронений — в ямах с деревянными конструкциями, не исчезнувший окончательно и в степи вплоть до конца IV в. до н.э. Вместе с тем общие идеологические концепции, касающиеся судьбы человека после смерти, оставались в среде ираноязычных кочевников прежними.

Еще в XX в. совместными исследованиями археологов, историков и лингвистов была доказана ираноязычность скифов Северного Причерноморья и правомерность использования для реконструкции их идеологии сведений из античных письменных источников, а также древнеиранских, индоиранских и даже индоарийских.

Скифский курган, по мнению многих ученых, это своеобразная модель Вселенной. Автор детально описывает основные конструктивные элементы этих погребальных памятников, постоянно повторявшиеся и в элитных, и в рядовых захоронениях: насыпь конической или полу-



сферической формы из пластов дерна, что визуально олицетворяет «Мировую Гору», «Верхний Мир» (мир богов, небесно-воздушная сфера); деревянная подкурганная поверхность — «Средний Мир» (мир людей и живых существ); погребальная камера — «Нижний Мир» (мир мертвых); кольцевой ровик вокруг кургана с проходом-перемычкой, отделявший мир живых от мира мертвых; наличие в могиле напутственной пищи (части туши лошади, реже — овцы) и железного ножа; следы поминальных пиров — тризн — в разных слоях насыпи (по мере ее сооружения) и в кольцевом ровике преимущественно в виде костей лошади; в погребениях знати — захоронение (в отдельных ямах) нескольких коней в полном снаряжении, а в рядовых курганах — либо одного коня, либо его имитации в виде конской сбруи; «очищение» огнем подкурганной поверхности; обязательное помещение в мужские могилы какого-либо оружия; в ряде значимых погребений — наличие бронзовых котлов с остатками напутственной пищи и т.д. У скифов, по гипотезе В.С.Ольховского (1991, 1999), существовали

представления о 40-дневном «посмертном путешествии» мифического героя верхом на коне, и этот опасный путь повторяли все умершие. В погребальном ритуале скифов особая роль отводится золоту: не только элитные могилы напичканы изделиями из золота и серебра, но и во многих рядовых захоронениях предметы из железа, кожи, дерева обернуты в золотую фольгу.

Разумеется, отмечает Гуляев, многие из названных признаков погребального обряда свойственны не только скифам Северного Причерноморья, но и родственным им ираноязычным кочевым племенам Евразии — от Тувы, Ирана и Казахстана до Волги и Дона. Но когда все эти черты «всаднической культуры» вдруг появляются в зоне автохтонного оседлого населения восточноевропейской лесостепи, речь в этом случае может идти, как отметил С.А.Скорый (2003), только о вторжении одной или нескольких волн ираноязычных кочевников, каковыми в VII—IV вв. до н.э. могли быть только скифы.

Анализ погребальных комплексов скифского времени из Лесостепного Подонья, включая

материалы курганного могильника у сел Терновое и Колбино, позволил выделить среди них как общеиранские кочевые, так и чисто скифские, описанные выше, черты погребального обряда. Несмотря на сплошное ограбление среднедонских курганов V—IV вв. до н.э., в них постоянно встречаются следы былого богатства. Показательно и стремление нынешних местных жителей покрывать золотыми нашивными бляшками одежду, обувь, головной убор, погребальный полог умершего — все это вписывается в идеологические концепции ираноязычных кочевников Евразии, включая скифов. Таким образом, заключает автор, ряд важнейших черт погребального обряда у людей, захороненных в курганах Лесостепного Подонья V—IV вв. до н.э., свидетельствует о том, что это население ближе всего стоит к населению причерноморской Скифии. Не противоречат этому выводу и антропологические данные (анализ останков около 90 индивидов) из тех же раскопок у сел Терновое и Колбино.

Труды II (XVIII) Всероссийского археологического съезда в Суздале. 2008. Т. II. С. 22—24 (Россия).

# Гимн профессии

В.П.Волков,

доктор геолого-минералогических наук

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

В последние годы начали появляться разноплановые издания об отечественных геологах. Так, целая когорта геологов разных специальностей печатает воспоминания о своих полевых сезонах (продолжающееся издание «Геология — любовь моя»), опубликованы мемуарно-биографические книги о тектонисте В.В.Белоусове [1], геофизике Г.А.Гамбурцеве [2], геологе А.Л.Яншине [3] и т.д. Выпускники 1956 г. геолфака МГУ издали справочно-мемуарный том о своем курсе [4].

Рецензируемая книга о том же времени — об отечественных геологах второй половины прошлого века, но весьма оригинальная по композиции и стилю. Подзаголовок «К 70-летию научного студенческого кружка» — это фактически вариант научной автобиографии геолога, профессора Московского нефтяного института (МНИ) П.В.Флоренского, который ведет означенный кружок уже почти полвека. Как и следует ожидать, в книге очень много написано о любимой профессии, о времени и немало о себе.

Издание имеет мозаичную структуру: прежде всего — документы, т.е. личная и официальная переписка, отрывки из многотиражной и центральной печати, огромное количество уникальных фотографий из личных архивов, неопубликованных воспоминаний. Ко всему прочему она украшена миниатюрными рисунками автора и его друзей и самостоятельными студенческими стихами.

Я воспринял этот объемный текст как эмоциональный гимн нашей общей с автором профессии — конечно же, лучшей в мире. Труд посвящен памяти декана геологоразведочного факультета МНИ им.И.М.Губкина, Василия Павловича Флоренского (1911—1956).

В первых двух главах рассказано об истории создания Московского нефтяного института, выделенного из Московской горной академии при ее разукрупнении в 1930 г. В дальнейшем повествовании главное внимание уделено родной кафедре автора. Вначале кафедра петрографии и минералогии, она эволюционировала до кафедры петрографии осадочных пород (1934) вплоть до современной кафедры литологии и системных исследований литосферы (с 1987-го).

Неотъемлемой частью кафедры с 1935 г. становится студенческий научный кружок «Петрограф», летопись деяний которого стала стержнем книги. Принадлежность к династии ученых Флоренских, портрет юного представителя седьмого колена которых мы найдем в конце книги (конечно, в полевых условиях!), ощущается во всей конструкции издания.

Дед автора, выдающийся ученый-энциклопедист и богослов П.А.Флоренский последние годы жизни (1933—1937) провел в Соловецком концлагере, откуда мог переписываться и поддерживать духовную связь с сыном Василием — тогда аспирантом МНИ. Нельзя не восхищаться научной мыслью этого человека. В книге немало цитат из соловецких писем. Вот, например: «относительно занятий по



**Флоренский П.В.** «ПЕТРОГРАФ» НА ВСЮ ЖИЗНЬ. К 70-летию научного студенческого кружка.

М., 2008. 318 с.

Издание выпущено на средства ветеранов кружка «Петрограф».

кристаллографии... старайся как можно чаще прибегать к наглядным пособиям и моделям. Пространственное воображение у человека на настоящей стадии развития очень слабо, а при непривычке представлять себе пространственные образы часто просто отказывается работать. Можно быть совсем неглупым — и все же не владеть представлением пространственных образов. <...> Пусть учащиеся сами делают модели, это тоже очень помогает. Прибегай к стереоскопу, побольше пользуйся окрашенными поверхностями — цвет очень укрепляет понимание формы» (С.47).

В 1935 г. Василий Флоренский организует научный студенческий кружок «Петрограф» и ведет своих подопечных по Военно-Грузинской дороге, учит азам наблюдения и описания природы. Отец пишет: «узнал ли что-нибудь новое по минералогии? Ведь ты, собственно, впервые пересек Кавказский хребет, т.к. когда ты ездил со мною, ты ничего не заметил и не воспринял, даже пейзажа» (С.58).

Не зная этого письма, одна из студенток дала на него красноречивый ответ: «Все участвовавшие в походе — 210 км по красивейшим и интереснейшим местам Кавказа — навсегда сохранили самые прекрасные воспоминания. И, конечно, душой его, примером для непривычных к таким условиям горожан был неутомимый, спокойный Василий Павлович, умеющий привлечь внимание к самому важному и интересному. Непрерывно меняющийся рельеф, горные реки, минеральные источники и ледники, разнообразие горных пород, флоры — стали ценнейшей геологической школой» (С.58).

Автор книги со студенческих лет (поступил в МНИ в 1954 г.) не только стал геологом, продолжая дело отца, но и хранителем исторической памяти своей малой alma mater — кружка «Петрограф». В 1977 г. он получил воспоминания о довоенной по-

ре кружка от видного палеонтолога А.И.Осиповой. Она писала: «кружок был не только студенческим: на заседания приходило много геологов, изучавших осадочные породы. <...> Вспоминаю, как горячо обсуждались тогда методы исследований, возможности генетической интерпретации данных химических и гранулометрических анализов и многое другое» (С.59).

В 1936 г. участники кружка под руководством заведующего кафедрой профессора Л.В.Пустовалова (его краткое жизнеописание мы тоже найдем на страницах книги) обследовали разрез пермских красноватых песчаников в Башкирии, после чего студенты-кружковцы могли иметь возможность ежегодной факультативной практики в этом районе. Результаты докладывались зимой на заседаниях кружка. Весной 1940 г. в МНИ был открыт Минералого-петрографический музей, ныне носящий имя Пустовалова, фонды которого были в основном укомплектованы студентами «Петрографа».

Отдельная глава посвящена губкинцам, в том числе и кружковцам в годы Великой Отечественной войны. Здесь мы имеем дело с тщательно подобранным массивом документов, из которых возникают живые голоса.

22 июня 1941 г. студенты, как обычно, на Военно-Грузинской дороге работают на геологических разрезах. «Этот день <23 июня> был первым и последним днем нашей практики. 25 июня мы проводили друзей в армию и вечером отправились в Москву. А через день всех ребят собрали и отправили в Смоленскую область строить оборонительные сооружения на ближних подступах к Москве. Когда мы выгрузились, была слышна отдаленная канонада, над нами летали самолеты, а вечером мы увидели зарево горящего Рославля. Дня через три-четыре после нашего отъезда отправились с той же целью в Брянскую область и наши девушки-студентки» (С.71).

По приказу наркома нефтяной промышленности директор института профессор М.М.Чарыгин с группой преподавателей выехал в Уфу, а 16 октября началась эвакуация оставшихся «на гражданке» студентов и преподавателей. Пешком в сторону Владимира вышли губкинцы. «Все были наготове... в институте нам сказали страшные слова: «Москву, возможно, придется оставить, а кадры надо сохранить». Сейчас, да и тогда, трудно сказать, кто дал такой приказ, на каком уровне. Но он был, вечером следующего дня, 16 октября... двинулись к шоссе Энтузиастов. <...> Нам были определены основные пункты маршрута: во Владимире сесть на поезд до Горького, сбор в Горьковском нефтяном техникуме, затем по Волге до Куйбышева, сбор всех назначен в Уфе. Путь от Горького до Уфы был уже как-то организован, а до Владимира часть дошла пешком, кого-то удалось посадить на попутные машины. Но главное, что в Уфе началась новая, военная жизнь института» (С.70).

Тем, кто родился в 40-х годах и позже, невозможно представить героизм людей, сумевших воссоздать практически на пустом месте минимальную материальную базу Нефтяного института в эвакуации и через 35 дней (!), 20 ноября 1941 г., вновь возобновить занятия примерно с 200 студентами. Ответственным за обустройство в Уфе был декан геолого-разведочного факультета МНИ Василий Павлович Флоренский.

Из воспоминаний сегодняшнего времени: «Нас, геологов, сразу объединила кафедра петрографии осадочных пород: Л.В.Пустовалов, В.П.Флоренский, Т.А.Лапинская и, конечно, Т.В.Корсакова — многолетняя «хозяйка» минералогических коллекций. Воссоздание музея здесь в Уфе сплотило нас вокруг кафедры. А духовно, интеллектуально и душевно объединившей нас вокруг основой была особая атмосфера старой русской интеллигенции, созданная

людьми, которых я перечислил. Она сохранилась, несмотря на все духовные тяготы войны. Ведь о житейских тяготах нет смысла говорить: их знает каждый, переживший войну. Но особая, уважительная, доброжелательная атмосфера, царившая на кафедре, повлияла на нашу уфимскую и всю последующую жизнь» (С.79).

Все так, но переживших войну становится все меньше, поэтому наверно и включил автор отрывки писем из семейного архива. Приведу только один фрагмент из письма Натальи Ивановны Флоренской — жены Василия Павловича — из Уфы в Загорск своей свекрови 9 октября 1942 г.: «Живем мы морально совсем хорошо, но с питанием у нас сейчас скверновато, т.к. у Васи к нашему приезду ничего не оказалось, он все выслал нам и у нас сейчас буквально ни крупинки соли, ни крупинки, ни мучинки. Паек мы почти весь проели в столовой и нам причитается получить очень немного. На базаре почти ничего нет, да и цены не по карману. Молоко у нас 50 р. литр и я его не беру даже Машутке (ей 6 месяцев)... я страшно довольна, что уехала из Загорска, с Васей мне ничего не страшно, как там. Он все обещает, что ему дадут картошку и тогда мы заживем».

Зимнюю сессию 1941/42 гг. сдавали 147 студентов, состоялся ускоренный выпуск 58 молодых специалистов, летом 1942-го открылся Минералогопетрографический музей, а летом 1943-го В.П.Флоренский провел двухнедельную геологическую практику на Урале.

В том же 1943-м возродился «Петрограф», и как! Кружковцы выпустили рукописный бюллетень, посвященный 80-летию В.И.Вернадского. Цитирую книгу: «Бумага была тогда величайшим дефицитом, но даже оформление бюллетеня изысканно: переплет из тисненого серебристого материала, акварельные иллюстрации, титульная страница с золочеными бук-

вами, безупречная распечатка на машинке» (С.93).

Помимо статьи студента В.В.Семеновича (в будущем один из крупнейших геологов-нефтяников) «К 80-летию академика В.И.Вернадского» были помещены девять статей студентов-кружковцев и две статьи преподавателей. Полагаю, что оригинал, или даже копия этого издания, была бы достойным экспонатом Дома-музея В.И.Вернадского, которого нет пока ни в Москве, ни в Питере, ни в Киеве...

Послевоенная жизнь кружка «Петрограф» (МНИ вернулся из Уфы в Москву осенью 1943 г.) описана подробно, по годам, со списками докладчиков, мест геологических экскурсий и отрывками из студенческих впечатлений, публиковавшихся в многотиражке. Причина полноты летописи проста — студентом, потом ассистентом, доцентом, профессором МНИ (после ряда преобразований сегодня — Государственной академии нефти и газа им.И.М.Губкина) стал П.В.Флоренский.

Страницы книги заполняют искренние, эмоциональные отзывы молодых энтузиастов геологического дела, приобщающихся к розам и терниям будущей профессии в свободном общении с опытными мастерами.

Приведу несколько отрывков, не требующих никаких комментариев.

1966 г., Кировск. «Отсюда в 30-е годы началось освоение богатств Кольского п-ова. Здесь добывают апатиты — ценнейшее сырье для производства удобрений. Кольские апатиты очень красивы и, как выразил свое восхищение один из товарищей, «прямо вкусные» (на вид, конечно). <...> Ведь читать и слушать лекции — одно, а все увидеть и взять самому — совсем другое дело. Это было для нас настоящей практикой по... петрографии» (С.141).

1988 г. «Целью нашей поездки был горный поселок Табошар, расположенный к северу

от Ленинабада; там мы увидели, как изготавливаются поделки из природного камня... Недалеко от поселка выходит на поверхность уникальная аметистовая жила, после осмотра которой наши рюкзаки стали неподъемными. Побывали и в карьере с цветными агатами, спускались в шахту, где добывают свинцово-серебряные руды, поднимались в горы — кладовую геолога. Самым интересным был маршрут в Бирюзакан, где каждый хотел найти хотя бы осколочек голубой, как горное небо, бирюзы» (С.218).

2001 г. «Вечно меняющееся притяжение Луны и Солнца заставляет волноваться Мировой океан и отливы, которые П.В.Флоренский называет «дыханием» Белого моря. При отливе вначале открываются верхушки гигантских валунов, остатки морены, затем отмели и острова. Подобно отступающей армии, море оставляет в зоне отлива награбленные у берега аметисты. <...> При отливе мы шли вдоль берега, поднимая аметисты, а обратно возвращались по вершинам скал уже во время прилива» (С.243).

В книге есть вроде бы чисто автобиографическая глава о метеоритном кратере Жаманшин в Казахстане, открытом и изученном П.В.Флоренским. Однако в экспедиции летом 1979 и 1981 гг. кружок «Петрограф» выезжал в полном составе (!), поэтому текст логично вписывается в книгу, тем более, что и здесь дано слово самым молодым (и неожиданным) членам экспедиции — омским старшеклассникам. «Мы поехали вторым из города Иргиз. <...> Переходя через барханы, окончательно выбились из сил. <...> И тут началась сильная песчаная буря. Из-за песка в воздухе не было видно пальцев на вытянутой руке. <...> Вероятно, это и был первый круг испытаний. Мы вышли точно на кратер. Удивительно — у нас не было ничего, кроме наброска-чертежа профессора Флоренского. <...> Больше меня кратер

не испытывал ни разу. <...> Для других я стал своеобразным проводником между нашим миром и зоной Жаманшин» (С.195).

В этой главе читатель найдет мастерски написанный научно-популярный очерк о метеоритных кратерах на Земле, в котором отдана дань памяти еще одному геологу из рода Флоренских — Кириллу Павловичу (1915—1982) — одному из основателей новой науки — сравнительной планетологии.

Верный принципу документального жанра, автор заключает книгу впервые публикуемой записке выступления академика А.Л.Яншина перед кружковцами «Петрографа» 28 июня 1999-го (в последний год жизни).

Тема преемственности в передаче знаний из поколения

в поколение постоянно звучит в книге, на страницах которой с благоговением говорится об основателе Нефтяного института академике И.М.Губкине, главе кафедры петрографии осадочных пород Л.В.Пустовалове и особенно о В.И.Вернадском, переписка которого с членами семьи Флоренских — уникальный памятник нашей культуры.

Предпоследняя глава «Застой. Перестройка. 1984—2000» стоит особняком. В ней описывается полная драматизма история разрушения и начала возрождения Нефтяного института в Грозном в ходе двух «чеченских войн». Там же — одиссея автора по военным дорогам Абхазии и Чечни, куда его привела судьба в качестве куратора студентов-нефтяников. Много мес-

та уделено воспоминаниям о своей общественно-политической деятельности (баллотировался в народные депутаты в 1989 г.), а особенно — размышлениям о движущих силах и причинах кризиса 90-х годов. Но это — область наук не естественных, а по классификации, приписываемой молвой в геологических кругах профессору В.М.Крейтеру, — противоестественных (только тогда были истмат с диаматом, а сейчас — «политология»), а посему рецензируя книгу, сам будучи геологом, не касаюсь этой материи...

Уверен, что книгу П.В.Флоренского с интересом прочтут геологи всех поколений, а ее документальное наполнение — находка для историков и социологов. ■

## Литература

1. Владимир Владимирович Белоусов. М., 1999.
2. Г.А.Гамбурцев: воспоминания, очерки, статьи. М., 1998.
3. Академик Александр Леонидович Яншин. Воспоминания, материалы: В 2-х кн. М., 2005.
4. Маршрут длиною в жизнь. Геологи МГУ (1951—1956) о времени и о себе. М., 2006.

### Экология

ВИДЫ И СООБЩЕСТВА В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ: Сборник, посвященный 75-летию академика Юрия Ивановича Чернова / Под ред. А.Б.Бабенко, Н.В.Матвеевой, О.Л.Макаровой, С.И.Головач. М.; София: Т-во науч. изд. КМК и PENSOFT Pbl., 2009. 494 с.

В сборник вошли статьи отечественных и зарубежных ученых разных специальностей (зоологов, ботаников, географов и экологов) — учеников и коллег академика Ю.И.Чернова, к юбилею которого приурочено издание этой книги. Ее составители отобрали работы тех авторов, которые попытались отразить развитие основных научных идей юбиляра — признанного в мире эксперта по экологии и биогеографии,

занимающегося изучением многовидовых сообществ животных и растений в условиях Арктики и аридных территорий. В публикуемых статьях дана оценка разнообразия флоры и фауны этих регионов, проанализирована структура уникальных природных сообществ и сформулированы рекомендации по их охране. Кроме того рассмотрены некоторые методологические и методические проблемы исследований. Редакторы сборника в предисловии отметили, что авторов и юбиляра объединяет стремление перейти от фактов к явлению, от явления — к заключению, а сама книга — знак признательности учеников и коллег Чернова. Книга снабжена цветными иллюстрациями, характеризующими разнообразный мир Арктики.

### Археология. Этнография

АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКИЙ РЕГИОН: АРХЕОЛОГИЯ, ЭТНОГРАФИЯ, ИСТОРИЯ: Сб. научных статей. Владивосток: Дальнаука, 2008. 312 с.

Собраны статьи, посвященные самым разным сторонам жизни населения Дальнего Востока и прилегающих стран — от конца 1-го тысячелетия до н.э. и заканчивая XX в.

Сборник по определению разнороден. В нем присутствуют работы, уясняющие приметы самобытности гуннского общества, обитавшего и крепнувшего в суровых условиях, где никакие другие народы Евразии существования не мыслили. В истории вряд ли найдется народ загадочнее гуннов — такой вывод содержится в книге.

Другая тема сборника — защитные доспехи, плечевая одежда и головные уборы чжурчжэней — древних обитателей Приморского края.

Прослеживаются общие черты в процессах колонизации Сибири и Северной Америки в XVII—XVIII вв.

Это лишь некоторые направления исследований, нашедших отражение в книге. Издание посвящено памяти Д.В.Ленькова, связавшего свою жизнь с археологией Дальнего Востока. В частности, он руководил отрядом по поискам следов экспедиции Витуса Беринга.

### **История науки. Геология**

**Хаин В.Е.** ДНИ МОЕЙ ЖИЗНИ (ВОСПОМИНАНИЯ ГЕОЛОГА). М.: Научный мир, 2009. 224 с., 40 ил.

«Судьба даровала мне долгую жизнь. — пишет академик Хаин, — и сохранила на ее протяжении здоровый ум и твердую память. Я решил, что было бы грешно не воспользоваться этим и не записать историю своей жизни и не рассказать о тех событиях, свидетелем или даже участником которых приходилось быть на ее протяжении».

Биография Виктора Ефимовича разделяется на два основных этапа — бакинский и московский. Он родился в Баку, окончил там же институт и начал свою научную деятельность в Институте геологии АН Азербайджана. Защитив докторскую диссертацию, в течение ряда лет заведовал отделом в этом институте.

В 1954 г., будучи избран по конкурсу на должность заведующего отделом Музея земледелия МГУ, стал сотрудником МГУ, а с 1961 г. — профессором кафедры динамической геологии.

В 1966 г. был избран членом-корреспондентом Академии наук, в 1987 г. — ее действительным членом.

С 1971 г. находится на основной работе в Геологическом институте АН СССР, Институте литосферы АН СССР, затем, после объединения двух последних, — в Геологическом институте Российской академии наук.

В книге автор касается своей научной деятельности, рассказывает о геологических экспедициях, о встречах с известными учеными, излагает свои взгляды на происходившие вокруг него события.

### **История науки. Физиология растений**

АКАДЕМИК АДОЛЬФ ТРОФИМОВИЧ МОКРОНОСОВ, 1928—2000 / Сост. Н.Н.Фирсов, И.С.Киселева, Р.А.Борзенкова, С.Ю.Ковалев. Под общ. ред. Г.Ф.Некрасовой. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. 157 с.

Сборник посвящен жизни и деятельности выдающегося физиолога растений академика А.Т.Мокроносова. Кроме рассказов коллег и родных, в него включены автобиография, письма и воспоминания самого героя книги. В июне 2008 г. ему исполнилось бы 80 лет. Мокроносов родился в Свердловской обл., в стенах Уральского университета сформировался как ученый, здесь создал признанную школу физиологов растений. Его научные интересы были связаны с изучением физиологии и экологии фотосинтеза, исследованием вклада растительных сообществ в эмиссию и сток углерода на территории России. Он один из первых в нашей стране начал применять радиоактивные изотопы для изучения биохимии растений.

Неутомимый путешественник, он хорошо знал природу и историю Урала. Одна из граней таланта Мокроусова, как свидетельствуют его ученики и соратники, — красота и сила слова. В органичном сочетании науки и культуры заключалось

обаяние его личности. Он был романтиком, страстным любителем природы и фотохудожником.

Многие помнят его как замечательного лектора и популяризатора науки.

### **История науки. Этнография**

**Благодар Ю.Г.** РОССИЙСКИЕ ПУТЕШЕСТВЕННИКИ И ДИПЛОМАТЫ О КИТАЕ XVIII ВЕКА. Краснодар: Изд-во Кубан. гос. технол. ун-та, 2008. 158 с.

Монография посвящена изучению письменных свидетельств российских путешественников и дипломатов, оказавших влияние на формирование представлений о Цинской империи. Главное внимание уделено описанию дипломатических миссий Л.В.Измайлова (1719—1722), С.Л.Владиславича-Рагузинского (1726—1728) и весьма успешной миссии Франца Елачича, посланного Петром I для пополнения академического музея — Кунсткамеры. Пожар 1747 г. нанес Кунсткамере большой ущерб. Елачичу был дан императорский наказ вести журнал, отмечать, какие болезни в разных краях случаются и как их лечат, какие лекарства, травы и снадобья продаются; как изготовляют посуду и имеются ли там стекольные заводы. От Академии наук наказ — собирать сведения о Китае в целом, его истории, флоре и фауне. Елачичу было поручено покупать всякие предметы, интересоваться государственным устройством, работой астрономической обсерватории в Пекине.

Купленные вещи были представлены Академии наук — 273 предмета. В результате ни один музей Европы не мог в этом отношении сравниться с Кунсткамерой. Это способствовало широкому для XVIII в. представлению о Поднебесной и образе жизни китайцев.

# Четыреста лет «Звездной вести»

А.В.Кузьмин,

кандидат физико-математических наук

Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН  
Москва

В 2010 г. исполняется 400 лет с момента издания «Звездного вестника» (SIDEREVS NVNCIVS) Галилео Галилея. Справедливости ради можно отметить, что более точный перевод звучит скорее как «Звездная весть».

Выход в свет этой книги изменил, казалось бы, очевидную истину относительно количества неподвижных звезд, которое можно наблюдать на ночном небосклоне. Древние созвездия вдруг наполнились звездами, ранее никем еще не виденными. Рисунки поверхностей небесных тел, сделанные «с натуры», также поразили современников. Но можно ли доверять таким возможностям зрения? Тем более, что глаз начинает испытывать странный приближающийся эффект, когда через удачно подобранные линзы смертный человек пытается разглядывать идеал божественного творения — вечное звездное небо.

«Сначала я решил нарисовать целиком созвездие Ориона, но, подавленный громадным множеством звезд и недостатком времени, отложил этот приступ до другого случая; ведь их более пятисот рассеяно вокруг старых звезд в пределах одного или двух градусов; поэтому кроме трех в Поясе и шести в Мече, которые уже давно были описаны, мы добавили прилежащих восемьдесят других, недавних увиденных, промежутки меж-

ду ними мы сохранили насколько можно точными. Известные или старые мы для отличия нарисовали большими и окружили двойной линией; другие, незаметные, — меньшими, и отметили двойной линией; различие в величинах мы, насколько было возможным, сохранили» [1].

Физика неба, согласно Аристотелю, описывала идеальные небесные движения. Физика Земли (подлунного мира) — движения, происходящие внутри нашего несовершенного мира. Галилей осознал единство физических законов и для Земли, и для неба. Он также не усомнился в возможности использовать зрительную трубу для разглядывания не только земных, но и небесных предметов. Такой очевидный в наши дни факт в начале XVII в. вызывал массу возражений. Главное из них: на вечном идеальном небе несовершенный глаз, да еще смотрящий через стекла, мог увидеть разве что иллюзию.

Здесь Галилей так же, как и в физике, опережает время, делая правильные выводы об увиденном им на небе, тогда как в отдельных случаях его заявления кажутся крайне смелыми и малообоснованными. Кстати говоря, сегодня человеку, хоть немного интересующемуся астрономией, достаточно просто разглядеть то, что разглядел Галилей.

Но! Повторяя этот опыт, каждый заранее знает результат — знает, что должно оказаться в поле его зрения. А каково было

*Молодая придворная дама. А говорят, что через этот прибор можно увидеть даже, какая шерсть у Большой Медведицы.*

*Галилей. Да, а также и пенки на Млечном Пути. Что же, господа поглядят все-таки или нет?*

Б.Брехт. Жизнь Галилея

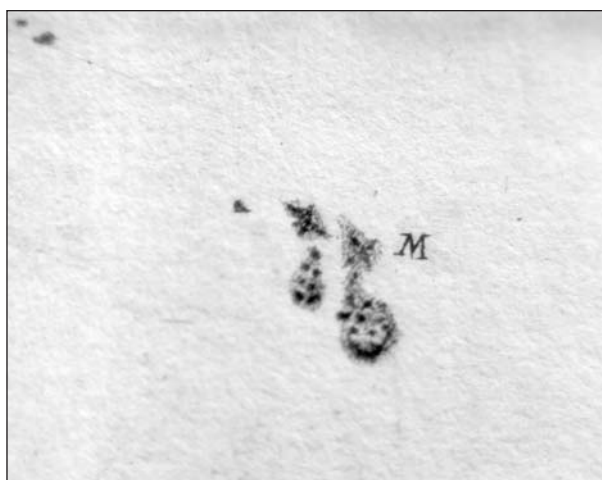
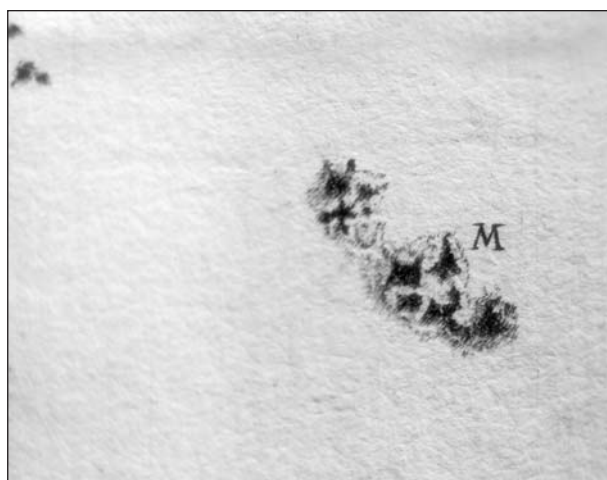


Галилео Галилей.

Портрет из прижизненного издания «Istoria E Dimostrazioni...» (Рим, 1613).

разглядеть это впервые? Да еще истолковать увиденное, сделать зарисовки, опубликовать и сами рисунки, и их интерпретацию? Галилей восхищает этим поистине провидческим даром.

Галилей-астроном идет путем художественного познания мира Леонардо. Он с фотографической точностью рисует изо дня в день меняющиеся формы солнечных пятен, взаимное расположение Юпитера и звезд Медичи, преобразующую форму Венеры и таинственный, завораживающий, все время меняющийся вид лунной поверхности (причем как освещенной, так



Зарисовки группы солнечных пятен, сделанные Галилеем. Он отметил эту группу буквой М, чтобы следить за происходящими изменениями.

и не освещенной Солнцем ее частей), новые, еще никем не виденные до него россыпи неподвижных звезд.

При наблюдении Солнца одновременно исследуются как изменения внутри самих пятен, так и изменения их вида вследствие смещения угла зрения в результате движения солнечной фотосферы вокруг своей оси. В последующих комментариях Галилей сравнивает характерные, часто наблюдаемые структуры пятен с явлениями, происходящими на Земле: завихрениями, пузырями, потоками, морскими волнами, брызгами, каплями, попавшими на песок... Самым рисунком Галилей пытается доказать единство земного и небесного миров — его метод противоположен методу Кеплера, увлеченного абстрактными диаграммами и чертежами. Основопологающим способом научного познания мира становится у Галилея сам процесс создания рисунка, художественного изображения, и последующее сравнение форм, зафиксированных с помощью телескопа, с формами, существующими на Земле.

Описания объектов, не имеющих аналогов в земном мире,

паразитным образом завершаются безошибочными и, кроме того, сенсационными для того времени выводами. Галилей виртуозно определяет причину «достойного удивления явления на Луне», — так называемого пепельного света, который был впервые описан Леонардо да Винчи. «Когда Луна, — пишет Галилей, — находится недалеко от Солнца, то нашему взору представляется не только та часть ее шара, которая украшена блестящими рождками, но даже и некоторая тонкая, чуть светлая окружность темной части, отращенной от Солнца, вырисовывается на небе и отделяется от более темного поля самого эфира. Но если мы отнесемся к наблюдению более внимательно, то не только увидим край темной части, светящейся каким-то неясным блеском, но и весь лик луны, тот, который еще не получает солнечного освещения, белет каким-то не очень малым светом» [1. С.32].

Изменения характера освещенности всей поверхности видимой стороны Луны на протяжении полного лунного цикла Галилей описывает скорее как художник, нежели ученый.

Только солнечный свет, отраженный от поверхности земного шара, и может быть причиной такой оптической игры\*. «Этот удивительный свет затруднял философствующих больше обычного; для его объяснения они выдвигали разные причины. А именно, некоторые называли его собственным и естественным светом Луны, другие утверждали, что он заимствуется от Венеры или от всех звезд, а некоторые от Солнца, пронизывающего своими лучами глубокую толщу Луны. Но все эти высказывания без труда можно опровергнуть и доказать их неправильность. <...> Какую причину оставить? Одно лишь то, что тело Луны или какого-нибудь другого темного и неосвещенного тела обливается светом самой Земли. Что же тут удивительного? Ничего более, чем то, что Земля по справедливому и взаимовыгодному обмену возвращает Луне такое же освещение, какое она сама получает от Луны почти все время в глубочайшем мраке ночи» [1. С.32—34].■

\* Галилей имеет в виду солнечный свет, отраженный Луной.

## Литература

1. Галилей Г. Звездный вестник / Пер. И.Н.Веселовского // Избранные труды. М., 1964.



# Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желаящим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

Над номером работали

Ответственный секретарь  
**Е.А.КУДРЯШОВА**

Научные редакторы  
**О.О.АСТАХОВА**  
**Л.П.БЕЛЯНОВА**  
**Е.Е.БУШУЕВА**  
**М.Ю.ЗУБРЕВА**  
**Г.В.КОРОТКЕВИЧ**  
**К.Л.СОРОКИНА**  
**Н.В.УЛЬЯНОВА**  
**Н.В.УСПЕНСКАЯ**  
**О.И.ШУТОВА**

Литературный редактор  
**С.В.ЧУДОВ**

Художественный редактор  
**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией  
**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Младший редактор  
**Г.С.ДОРОХОВА**

Перевод:  
**С.В.ЧУДОВ**

Набор:  
**Е.Е.ЖУКОВА**

Корректоры:  
**Л.М.ФЕДОРОВА**  
**М.В.КУТКИНА**

Графика, верстка:  
**А.В.АЛЕКСАНДРОВА**

Свидетельство о регистрации  
№1202 от 13.12.90

Учредитель:  
Российская академия наук,  
президиум  
Адрес издателя: 117997,  
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,  
Москва, Мароновский пер., 26  
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (499) 238-24-56  
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 15.04.2009  
Формат 60×88 1/8  
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,  
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2  
Заказ 221  
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»  
Академиздатцентра «Наука» РАН,  
121099, Москва, Шубинский пер., 6