

ISSN 0032-874X

# ПРИРОДА

3 99



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора доктор физико-математических наук А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

доктор физико-математических наук А.А.КОМАР (физика),

доктор биологических наук А.К.СКВОРЦОВ (биология),

доктор геолого-минералогических наук А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Доктор геолого-минералогических наук С.В.АПЛОНОВ (геофизика), О.О.АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), доктор геолого-минералогических наук А.Т.БАЗИЛЕВСКИЙ (планетология), доктор геолого-минералогических наук И.А.БАСОВ (геология), кандидат химических наук Л.П.БЕЛЯНОВА (редактор отдела экологии и химии), кандидат технических наук В.П.БОРИСОВ (история науки), член-корреспондент РАН В.Б.БРАГИНСКИЙ (физика), доктор физико-математических наук А.Н.ВАСИЛЬЕВ (физика), доктор географических наук А.А.ВЕЛИЧКО (география), академик М.Е.ВИНОГРАДОВ (биоокеанология), академик РАНН А.И.ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н.Н.ВОРОНЦОВ (охрана природы), член-корреспондент РАН С.С.ГЕРШТЕЙН (физика), доктор биологических наук А.М.ГИЛЯРОВ (экология), академик Г.С.ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), кандидат физико-математических наук Ю.К.ДЖИКАЕВ (ответственный секретарь), академик Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), академик А.М.ДЫХНЕ (физика), академик Г.А.ЗАВАРЗИН (микробиология), академик Ю.А.ЗОЛОТОВ (химия), М.Ю.ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), академик РАНН В.И.ИВАНОВ (генетика), академик В.Т.ИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В.А.КАБАНОВ (химия), доктор физико-математических наук М.В.КОВАЛЬЧУК (физика), Г.В.КОРОТКЕВИЧ (редактор отдела научной информации), академик Н.П.ЛАВЕРОВ (геология), член-корреспондент РАН В.В.МАЛАХОВ (зоология), доктор биологических наук К.Н.НЕСИС (биология), член-корреспондент РАН Л.В.РОЗЕНШТРАУХ (физиология), П.Е.РУБИНИН (история науки), член-корреспондент РАН А.Н.САХАРОВ (история), академик В.П.СКУЛАЧЕВ (биохимия), кандидат физико-математических наук К.Л.СОРОКИНА (редактор отдела физики и математики), член-корреспондент РАН Н.П.ТАРАСОВА (физическая химия), Н.В.УЛЬЯНОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), Н.В.УСПЕНСКАЯ (редактор отдела истории естествознания и публицистики), академик Л.Д.ФАДДЕЕВ (математика), член-корреспондент РАН М.А.ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор биологических наук С.Э.ШНОЛЬ (биофизика), О.И.ШУТОВА (редактор отдела охраны природы), член-корреспондент РАН А.М.ЧЕРЕПАЩУК (астрономия, астрофизика).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Графическое изображение экологического взаимодействия ночной бабочки с препятствием. См. в номере: **Лапшин Д.Н.** *Ультразвуковая локация ночных бабочек.*

Фото Д.Д. Воронцова

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Шмель — один из многих видов насекомых, которые прилетают покормиться на зарастающие травянистые отвалы. См. в номере: **Булавицев В.И.** *Когда природа пишет с чистого листа.*

Фото автора



## В НОМЕРЕ

- 3** Н.Ф.Еланский  
МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНВЕНЦИИ ПО  
АТМОСФЕРЕ И КЛИМАТУ И ИНТЕРЕСЫ  
РОССИИ

*Россия, первоначально одна из основных стран-участников всемирного экологического движения, не в состоянии выполнить все заключенные в международных соглашениях требования. К тому же они не всегда обоснованы.*

- 12** К 95-ЛЕТИЮ Ю.Б.ХАРИТОНА  
Харитон Ю.Б.  
ОСОБОЕ ВЫСТУПЛЕНИЕ В ПАМЯТЬ  
РОБЕРТА ОППЕНГЕЙМЕРА (13)  
ПИСЬМО АННЫ АЛЕКСЕЕВНЫ КАПИЦЫ  
(16)

- 17** Баранов В.С., Асеев М.В., Баранова Е.В.  
«ГЕНЫ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ» И  
ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ

*Детальное изучение генома человека позволило специалистам серьезно обсуждать вопрос о создании индивидуальной базы данных для каждого человека. Хочется надеяться, что в недалеком будущем идея генетического паспорта воплотится в жизнь.*

- 28** Лапшин Д.Н.  
УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ЭХОЛОКАЦИЯ НОЧНЫХ  
БАБОЧЕК

*Экспериментальное изучение эхолокации у бабочек показало, что ультразвук помогает им ориентироваться в темноте, а безопасность полетов обеспечивается совместным действием зрительной и эхолокационной систем.*

- 36** ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ  
Аппак Б.А.  
ЧЕРНЫЙ ГРИФ ЕЩЕ ЖДЕТ НАШЕЙ  
ПОМОЩИ

- 38** Булавинцев В.И.  
КОГДА ПРИРОДА ПИШЕТ С ЧИСТОГО  
ЛИСТА

*Человек, добывая руду, оставляет после себя громадные котлованы и отвалы — настоящие раны на земной плоти. Их можно залечить, если помочь природе в ее извечном стремлении к самовосстановлению.*

- 49** Мейлихов Е.З.  
ТОКИ В ВТСП-КЕРАМИКАХ: ПРЕОДОЛЕНИЕ  
ГРАНИЦ

*Использование сверхпроводящих проводов для передачи электроэнергии дало бы колоссальную экономию. Однако на пути подобного применения высокотемпературных сверхпроводящих керамик, открытие которых вызвало такой энтузиазм, пока еще немало проблем.*

- 59** Полян П.М.  
ЛЮДИ НА ЗЕМЛЕ. КАРТА НАСЕЛЕНИЯ  
МИРА

- 62** Бронштэн В.А.  
ГИГАНТСКИЕ МЕТЕОРИТЫ XX В.  
*Уходящий век был богат на падения гигантских метеоритов. Но многие из них взорвались в воздухе, и главные их массы пока не найдены.*

- 69** Несис К.Н.  
КАК ДЕКАПОДА ВСТРЕТИЛАСЬ С ДЕКАПОДОЙ

- 70** Василенко И.Я.  
РАДИОАКТИВНЫЙ ЦЕЗИЙ-137  
*Экспериментальные и эпидемиологические данные позволили проследить пути миграции во внешней среде и в живых организмах одного из основных радионуклидов, определяющих токсичность продуктов деления урана и плутония, и оценить его опасность для населения планеты.*

- 77** Виноградов С.Д., Пономарев В.С.  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ  
СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА  
*«Сейсмический режим» разрушаемых объектов можно изучать в условиях, поддающихся контролю, — в горных шахтах и лабораториях.*

- 90** ВОЗВРАЩЕНИЕ  
Остерброк Д., Гурштейн А.А.  
ПОСЛЕДНИЙ ИЗ МОГИКАН: ОТТО  
ЛЮДВИГОВИЧ СТРУВЕ

- 104** Г.М.Виноградов  
ЗАГАДОЧНАЯ «НИТЬ» ИЗ СЕРДЦА АСЦИДИИ

- 105** НОВОСТИ НАУКИ

КОРОТКО (35,58)

ОБЪЯВЛЕНИЯ (68,89)

- 120** РЕЦЕНЗИИ  
Комар А.А.  
ДИАЛОГИ МЕЖДУ ФИЗИКОМ И МАТЕМАТИКОМ

- 122** НОВЫЕ КНИГИ

- 124** ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ  
Мёллер П.У., Охотина-Линд Н.  
«КОМАНДОРША» — ТАК НАЗЫВАЛИ В  
РОССИИ АННУ КРИСТИНУ БЕРИНГ

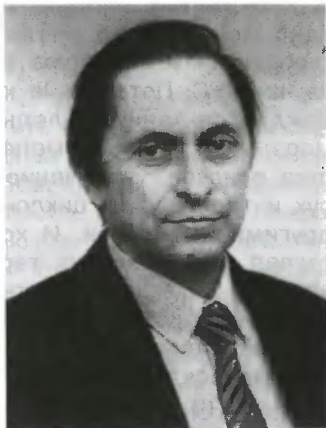
## CONTENTS

- 3** N.F.Elansky  
INTERNATIONAL CONVENTIONS ON THE ATMOSPHERE AND CLIMATE AND THE INTERESTS OF RUSSIA  
*Initially one of the principal participants in the world's environmental movement, Russia is unable to meet all the requirements of international agreements. Besides, they are not always well-founded.*
- 12** ON THE 95TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF YU.B.KHARITON Khariton Yu.B.  
A SPECIAL ADDRESS IN MEMORY OF ROBERT OPPENHEIMER (13)  
ANNA ALEKSEEVNA KAPITZA'S LETTER (16)
- 17** Baranov V.S., Aseev M.V., and Baranova E.V.  
«PREDISPOSING GENES» AND GENETIC PASSPORT  
*Detailed research on human genome has enabled specialists to seriously discuss the issue of creating a personal database for each human being. It is only to be hoped that the idea of genetic passport will become a reality in the not so distant future.*
- 28** Lapshin D.N.  
ULTRASONIC ECHO SOUNDING OF NIGHT MOTHS  
*Experimental study of the echo sounding of moths showed that ultrasound helps them maintain their bearings in the dark, whereas their flight safety is ensured by the joint work of the vision and echo-sounding systems.*
- 36** NOTES AND OBSERVATIONS  
Appak B.A.  
THE BLACK VULTURE IS STILL WAITING FOR OUR HELP
- 38** Bulavintsev V.I.  
WHEN NATURE TURNS OVER A NEW LEAF  
*When extracting ore, humans leave behind huge pits and waste dumps — veritable wounds on the earth's flesh. These can be healed by assisting nature in its eternal aspiration for self-restoration.*
- 49** Meilikhov E.Z.  
CURRENTS IN HTSC CERAMICS: OVERCOMING BOUNDARIES  
*The use of superconducting wires for transmitting electricity would save a tremendous amount of resources. However, there are still many problems to be solved before one can use the lavishly praised high-temperature superconducting ceramics for this purpose.*
- 59** Polyán P.M.  
PEOPLE ON EARTH. WORLD POPULATION MAP
- 62** Bronsten V.A.  
GIANT METEORITES OF THE 20TH CENTURY  
*This century has been rich in the falls of giant meteorites. Yet many of them exploded in the air, and their main parts are still to be found.*
- 69** Nesis K.N.  
HOW A DECAPOD MET A DECAPOD
- 70** Vasilenko I.Ya.  
RADIOACTIVE CESIUM-137  
*Experimental and epidemiological data were used to trace the paths traveled in the environment and in living organisms by one of the main radionuclides responsible for the toxicity of fission products of uranium and plutonium and to assess its hazard to the earth's population.*
- 77** Vinogradov S.D. and Ponomarev V.S.  
EXPERIMENTAL STUDY OF SEISMIC REGIME  
*The seismic regime of structures subjected to destruction can be studied in controllable conditions: in mines and laboratories.*
- 90** COMEBACK  
Osterbrok D. and Gurshtein A.A.  
THE LAST OF THE MAHICANS: OTTO LYUDVIGOVICH STRUVE
- 104** Vinogradov G.M.  
A MYSTERIOUS «THREAD» FROM THE HEART OF AN ASCIDIAN
- 105** SCIENCE NEWS  
IN BRIEF (35,58)  
ADVERTISEMENTS (68,89)
- 120** BOOK REVIEWS  
Komar A.A.  
DIALOGUES BETWEEN A PHYSICIST AND A MATHEMATICIAN
- 122** NEW BOOKS
- 124** ENCOUNTERS WITH THE FORGOTTEN  
Møller P.U. and Okhotina-Lind N.  
«LADY COMMANDER»: THE NICK-NAME GIVEN BY RUSSIANS TO ANNA CHRISTINA BERING



# Международные конвенции по атмосфере и климату и интересы России

Н. Ф. Еланский



*Николай Филиппович Еланский, доктор физико-математических наук. Заведующий отделом Института физики атмосферы РАН, член Международной комиссии по атмосферному озону. Круг научных интересов — методы наблюдений малых примесей в атмосфере, математическое моделирование, измерение содержания примесей.*

**В** ОТЛИЧИЕ от многих «домашних» экологических неприятностей (загрязнение почвы и воды, опустынивание, сокращение видов животных и растительности и т.д.) проблемы загрязнения атмосферы носят глобальный характер. Каждая страна в отдельности ничего не может с ними поделать. Здесь нужны совместные усилия.

Напомним, что в основе всех экологических проблем, связанных с качеством воздуха, погодой и климатом лежит изменение химического состава атмосферы. В ходе человеческой деятельности в нее ежегодно выбрасывается несколько миллиардов тонн различных веществ в виде газов и аэрозолей. Многие из этих веществ — углекислый газ, метан, закись азота, оксид углерода — пропускают к Земле ультрафиолетовое (УФ) и видимое солнечное излучение, но поглощают уходящее от Земли тепло, приводя к парниковому эффекту. Их так и называют — «парниковые» газы.

Другие вещества, такие как фреоны (хлорфторуглеродороды) и галоны, содержащие хлор, фтор и бром, почти абсолютно нейтральные и безвредные у земли, попадая в стратосферу, распадаются на активные составляющие, которые разрушают озоновый слой. Это так называемые озоноразрушающие вещества. Выделяется также третья группа соединений, это — сильнейшие окислители, которые и определяют в основном химический состав атмосферы — озон, оксиды азота, радикал гидроксил и др. Благодаря им в атмосфере разрушаются многочисленные углеводороды и их производные, хотя при этом часто образуются токсичные и вредные для здоровья человека химические соединения. Сами окислители в повышенных

концентрациях тоже опасны для всего живого.

Надежно установлено, что содержание большинства этих газов в атмосфере неуклонно растет. Рост обусловлен антропогенными причинами и не связан с действующими естественными источниками, среди которых основную роль играют жизнедеятельность микроорганизмов, водорослей, растений, животных и выбросы вулканов.

Для углекислого газа скорость роста составляет около 0.5% в год. Для метана, оксида углерода и оксидов азота — примерно 1% в год. Еще быстрее растет концентрация хлорфторуглеродов. Количество метана в атмосфере удвоилось за последние 200 лет, концентрация оксидов азота выросла в два раза менее чем за 100 лет. Почти удвоилось по сравнению с доиндустриальной эпохой содержание углекислого газа. Во много раз увеличилась концентрация в воздухе некоторых органических соединений, и более того, в атмосфере появились совершенно новые для нее вещества, не имеющие естественных источников.

Изменение состава атмосферы имеет важные последствия. Во-первых, ухудшилось качество воздуха, причем не только в городах и в промышленно-развитых регионах, но и в целом на земном шаре. Благодаря активным процессам переноса долгоживущие в атмосфере примеси, попавшие в воздух в Северной Америке или Европе, через несколько месяцев распространяются почти на все Северное полушарие, частично проникают в Южное и могут достигать даже Южного полюса.

Во-вторых, происходит разрушение озонового слоя и увеличивается поток коротковолновой солнечной УФ-радиации на земную поверхность, что приводит к подавлению иммунной системы человека, увеличению числа заболеваний раком кожи и катарактой, а также к большим убыткам в сельском хозяйстве из-за воздействия на растения и животных.

Особенно неблагоприятно складывается этот процесс в России. В последние

10—15 лет над Сибирью в зимне-весенний период развивалась аномалия в озоновом слое, которая сейчас заставляет говорить о появлении озоновой дыры над нашей страной. (В 1997 г. содержание озона над Сибирью снизилось в марте—апреле на 30%.)

В-третьих, изменился тепловой баланс Земли, и за последние 100 лет глобальная температура воздуха выросла на 0.6°C. Потепление климата сопровождается таянием ледников и вечно мерзлых грунтов, изменением количества осадков, увеличением частоты засух и тропических циклонов и многими другими явлениями. И хотя на первый взгляд для северных территорий этот процесс кажется благоприятным, более детальные исследования показывают, что повышение уровня моря, изменение режима осадков, изменение состояния облачности и т.п. в целом дают резко неблагоприятный для человека эффект.

## МЕЖДУНАРОДНЫЕ СОГЛАШЕНИЯ

Уже первые признаки этих опасных явлений имели в 70-е годы большой общественный резонанс. Виновниками загрязнений воздуха вполне обоснованно считались промышленно-развитые страны, которые и должны были нести основные расходы по их устранению.

Обнародованные результаты фундаментальных научных исследований вызвали большую заинтересованность общественности и привели к принятию важных международных соглашений — Женевской конвенции о дальнем трансграничном переносе загрязняющих примесей и Протокола к ней о сокращении выбросов оксидов азота (принятых в 70-х годах), Венской конвенции о защите озонового слоя (1985) и Монреальского протокола об ограничении и запрещении производства озоноопасных хлорфторуглеродов (1987), Конвенции об изменении климата (Рио-де-Жанейро, 1992) и Протокола об ограничении выброса парниковых газов (Киото, 1997).

Если первые соглашения по трансграничному переносу носили скорее рекомендательный характер, то последую-

щие содержали уже обязательные к исполнению конкретные требования. Беспрецедентным в этом отношении явился Монреальский протокол. Тщательно подготовленные и сформулированные цели, требования и санкции за их неисполнение продемонстрировали возможность решения сложнейших экологических проблем. В 1987 г. его подписали 36 стран. Предусматривалось сначала заморозить на уровне 1986 г., а к 1993 г. сократить на 20% производство наиболее опасных хлорфторуглеродов. Эти требования были выполнены даже раньше срока. В 1990 г. в Лондоне правительства 92 стран приняли обязательства полностью прекратить производство озоноразрушающих веществ к 2000 г. В число запрещаемых соединений были дополнительно включены широко используемые в народном хозяйстве и в быту четыреххлористый углерод, метилхлороформ, метилбромид. В 1992 г. в Копенгагене срок прекращения производства хлорфторуглеродов был перенесен на 1996 г., а список озоноразрушающих веществ пополнился целым семейством соединений — гидрохлорфторуглеродами. Они должны быть полностью исключены из производства и потребления к 2030 г.

В год десятилетия Монреальского протокола уже 163 страны стали участниками движения за сохранение озонового слоя. Однако не все страны оказались способны выполнить подписанные соглашения, в их числе и Россия. В 1990 г. в республике производилось 198 тыс. т озоноразрушающих веществ, что составляло около 20% от мирового уровня. В 1992 г. их выпуск упал до 146,5 тыс. т, а в 1996 г. — до 18 тыс. т. Однако полное прекращение производства этих веществ Россия может обеспечить только к 2000 г. Страны Венской конвенции с пониманием отнеслись к выдвинутому в 1995 г. предложению правительства России продлить срок полного запрещения производства и потребления озоноразрушающих соединений в связи с экономическими трудностями и пока не применяют экономических санкций к нашей стране.

Опыт согласованных международных действий по защите озонового слоя в полной мере был использован странами при разработке Конвенции об изменении климата. Вначале 176 стран подписали Конвенцию, и только через пять лет, после интенсивной подготовки — Протокол об ограничении выброса в атмосферу парниковых газов. Последний документ подписали не просто, при его обсуждении шла острая борьба, поскольку ограничения на величину выброса прямо влияют на развитие промышленности, энергетики, транспорта в каждой из стран участников соглашения.

Протокол предусматривает в целом сократить объем выбросов парниковых газов в период 2008—2012 гг. на 5,2% по сравнению с 1990 г. При этом страны ЕС должны сократить выбросы на 8%, США — на 7%; Япония, Канада, Польша, Венгрия — на 6%. Россия и Украина сохраняют величину эмиссии на уровне 1990 г., учитывая кризисное состояние экономики. Российская делегация комментировала это решение как успех отечественной дипломатии.

По сравнению с Монреальским соглашением в новом Протоколе в общем виде был уже предложен механизм торговли квотами на эмиссии. Страны, превышающие установленные нормы, могут покупать квоты тех стран, где эти нормы не достигаются. Таким образом, начал формироваться совершенно новый экологический рынок, на котором, очевидно, будут сосредоточены огромные финансовые ресурсы.

Подобные шаги в направлении экологической безопасности заставляют пересмотреть первые, принятые в 70-х годах, малоэффективные решения, касающиеся улучшения качества приземного воздуха. В 1996 г. на встрече министров экологии ряда европейских стран был начат процесс подготовки новой конвенции о тропосферном озоне, концентрация которого в приземном воздухе за последние 100 лет выросла в два-три раза. Она приблизилась к тому уровню, когда озон становится опасным для человека и живой приро-

ды (содержание озона в тропосфере составляет 12—15% от общего количества и поэтому его рост не компенсирует разрушения стратосферного озонового слоя). Предварительное обсуждение возможных ограничительных мер показало, что список запрещенных к производству веществ будет существенно более весомым, чем в ранее принятых соглашениях. Очевидно, эти меры затронут многие жизненно важные отрасли народного хозяйства. Кроме того, будущая конвенция имеет более выраженный региональный характер, и поэтому, возможно, запреты, ограничения и распределение квот на эмиссии будут проводиться в том числе и по отдельным регионам.

### ПОЛОЖЕНИЕ РОССИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ДВИЖЕНИИ

Чтобы понять ситуацию России, надо ответить на вопросы: почему развитые страны, которых в основном и касаются ограничения, — активные участники и инициаторы экологических соглашений? Почему это имеет большую политическую поддержку развивающихся стран? Несомненно, свою роль играет желание оздоровить среду обитания и избежать неблагоприятных, а для многих и катастрофических последствий ее изменений. Однако не менее значимы и соображения экономической и политической выгоды. Оказалось, что, возглавив это движение и вложив в научные и прикладные исследования определенные средства, можно получить не только большую прибыль, но и целый ряд экономических, социальных и политических преимуществ. Часто приводится в пример компания «Du Pont», которая, являясь одним из производителей фреонов, первоначально выступала против возможной связи разрушения озонового слоя с эмиссией хлорфторуглеродов в атмосферу, но изменила свою позицию, щедро поддержала научные исследования в области физики и химии атмосферы и в нужное время предложила на рынок озонобезопасные технологии и веще-

ства. Похожий путь прошли международные концерны «Imperial Chemical Industries» («ICI»), «Hoechst AG», «Atochem SA», «Allied Signal Inc.», «Shows Denko KK», которые сейчас практически монополизировали мировую торговлю не только озонобезопасными продуктами, но и средствами их производства. Более того, «Du Pont» и «ICI» оказали влияние на разработку самих критериев оценки опасности веществ для озонового слоя, что помогло им задать определенное направление развития некоторых важных отраслей на последующие годы.

Прямое вовлечение промышленных корпораций в научные, в том числе чисто фундаментальные, исследования позволило выполнить целый ряд дорогостоящих проектов по изучению атмосферы Земли. Проведены экспедиции в Антарктику, лабораторные эксперименты в области химии атмосферы, модернизирована система ее мониторинга. Однако вовлечение корпораций задает некоторые рамки развитию научного процесса. Это хорошо демонстрирует следующий пример: непродолжительный спад содержания озона в 1993—1994 гг., вызванный, как сейчас уже очевидно, естественными процессами, намеренно интерпретировался некоторыми учеными как влияние озоноразрушающих веществ (1994), а когда уровень содержания озона стал восстанавливаться (1995), этот процесс представили как позитивный результат выполнения Монреальского протокола. При этом все специалисты отлично понимали, что никаких резких глобальных изменений содержания озона под действием антропогенных процессов не может происходить из-за большой инертности атмосферы.

Когда экологическое движение становится предметом государственной политики, а не политики одной или нескольких корпораций, то эффект может быть намного значительней. Согласно Национальному плану действий, принятому правительством США в 1993 г. в связи с изменением климата, затраты на снижение эмиссии парниковых газов



в период 1994—2000 гг. составляют 60 млрд амер. долл. Однако за счет повышения эффективности расходования энергии за тот же период такая же сумма будет сэкономлена. А в период с 2000 по 2010 г. доходы от энергосбережения составят уже 207 млрд долл. Поскольку страна параллельно решает целый ряд задач в области развития науки, образования и здравоохранения, а также политики и экономики, то, очевидно, инициирование процесса по сохранению климата выгодно США, и квота равная 7% в основном укладывается в заранее запланированные рамки снижения эмиссий.

Аналогичные интересы имеют другие развитые страны Запада и Японии. Страны третьего мира пока участвуют в процессе скорее как заинтересованные сторонние наблюдатели. С одной стороны, не имея развитых научных центров, они не могут ставить под сомнение результаты исследований, согласно которым самые тяжелые последствия уменьшения озона и потепления климата ожидают именно население тропического пояса. С другой стороны, экологические требования и санкции пока не затрагивают развивающиеся страны. По Протоколу, принятому в Киото, они не имеют никаких конкретных обязательств. А по Монреальскому протоколу обязательства не являются жесткими, так как эти страны были ориентированы не на производство, а на потребление озоноразрушающих веществ. К тому же цена основных заменителей фреонов Ф-11 и Ф-12 составляет примерно 3 долл. США за килограмм, в то время как килограмм озоноразрушающих фреонов стоил 5 долл.

Россия оказалась в совершенно другой ситуации. Советский Союз, подписывая в 1985 г. Венскую конвенцию по защите озонового слоя, руководствовался скорее политическими и идеологическими соображениями. На государственном уровне не было сделано практически ничего, чтобы как-то защитить экономические интересы страны, не говоря уже о том, чтобы получить какую-либо выгоду из Монреальского и

последующих соглашений. Разрушив высокорентабельную отрасль промышленности, связанную с производством хлорфторуглеродов, 60% которых шли на экспорт, Россия не смогла перестроиться на производство озонобезопасных веществ. Соответственно в тяжелом положении оказались смежные отрасли, производящие аэрозоли бытового и технического назначения (46% потребления озоноразрушающих веществ), холодильники и кондиционеры (27%), средства пожаротушения (14%), пенопласты (11%), растворители (2%).

Выделенный Глобальным экологическим фондом на реконструкцию российских предприятий безвозмездный грант в 60 млн амер. долл. далеко не решает проблемы. Россия еще долго будет вынуждена закупать безопасные для озона соединения и технологии их производства. К тому же заметна тенденция к быстрой смене этих веществ в соответствии с периодически меняющимися критериями опасности. Так, фреон Ф-134а — один из основных заменителей озоноразрушающих веществ, предложенный фирмой «Du Pont», оказался активным парниковым газом.

Ужесточаются санкции к странам, не выполняющим соглашения. На апрельской встрече руководителей министерств охраны окружающей среды стран большой восьмерки (с участием России) в 1998 г. принято решение начать активную борьбу с контрабандным производством и распространением озоноразрушающих веществ. Очевидно, это решение прежде всего адресовано России.

Среди многих причин, из-за которых Монреальский протокол обернулся для России бедствием, особо выделяется отстранение отечественной науки от оценки принимаемых решений и разработки рекомендаций. Подготовленная сразу после подписания Венской конвенции Национальная комплексная программа исследования атмосферного озона, позже трансформированная в Программу перевода отечественной промышленности на производство и использование безопасных

для озона веществ, многократно пересматривалась и до сих пор (!) не утверждена правительством РФ. Парадоксально, но еще в начале 80-х годов в СССР существовала созданная А.Х.Хргианом авторитетная научная школа, которая занималась исследованиями озона. Большие достижения она имела как раз в изучении процессов разрушения озонового слоя и образования его неоднородностей. Еще тогда наши специалисты вполне обоснованно возражали против однозначного объяснения уменьшения концентрации озона действием антропогенных факторов. Сейчас уже всем очевидно, что в значительной степени эти долговременные естественные вариации связаны с солнечной активностью, атмосферной циркуляцией, вулканической деятельностью. Даже при скромной финансовой и организационной поддержке исследований в области физики и химии атмосферы некоторые положения Монреальского протокола могли бы быть совсем другими, более полезными для нашей страны.

По тем же причинам успех нашей делегации в Киото не вызывает большого удовлетворения. В отличие, например, от США, где уже несколько лет подряд под патронажем президента не только ведутся целенаправленные научные исследования причин изменения климата и возможных последствий, но и реализуются широкие государственные и общественные инициативы в области экономии ресурсов, снижения загрязнения атмосферы, экологического образования детей и молодежи, в России не предпринимаются какие-либо заметные действия в этих направлениях. Очевидно, повторяется монреальский сценарий, и в будущем неизбежна полная зависимость от зарубежных научных оценок, не всегда объективных, от технологий, не всегда лучших, и от финансовой помощи, не всегда полезной.

К каким сложным поворотам приводит такая позиция, можно видеть на примере нашей самой благополучной газовой отрасли. Известно, что наша страна обладает 36% всех разведанных запасов природного газа — метана. Это

огромный потенциал развития отечественной экономики. Но метан относится к парниковым газам, выбросы которых в атмосферу в 2012 г. не должны превышать для России уровня 1990 г.

В последние годы западные эксперты провели переоценку времени жизни в атмосфере  $\text{CH}_4$ , и оказалось, что его парниковый потенциал (эффективность воздействия на климат относительно воздействия  $\text{CO}_2$ ) вырос в два раза. Это резко увеличивает возможный вклад  $\text{CH}_4$  в общее потепление климата на планете.

Согласно оценкам, глобальный поток метана в атмосферу от всех возможных источников, естественных и антропогенных, составляет 470 млн т в год. Принято считать, что из них на долю утечек из систем добычи, переработки и транспортировки газа приходится от 30 до 110 млн т в год (при этом вклад США считается равным 3.2, а всех западных стран вместе — 10 млн т/год). Откуда же тогда такой разброс оценок? Он связан с возможными утечками газа в восточноевропейских странах, и прежде всего в России, из-за некачественного оборудования и неэффективной системы его переработки и транспортировки. Доказательством этого служит якобы сильно повышенный уровень концентрации  $\text{CH}_4$  над территорией России, в основном в Западной Сибири. Допустит ли мировое сообщество при таких огромных утечках, сравнимых с глобальной эмиссией метана, активное освоение Россией новых месторождений? Конечно, нет!

Между тем уникальные измерения над Россией с помощью вагона-лаборатории изотопного состава  $\text{CH}_4$ , которые проведены Институтом физики атмосферы РАН совместно с группой специалистов из Института химии Макса Планка (Германия), возглавляемой лауреатом Нобелевской премии П.Крутценом, показали, что практически весь метан над Западной Сибирью имеет природное биогенное происхождение и никак не связан с газодобычей. Другими словами, потери на объектах РАО «Газпром» примерно такие же, как и на

объектах в западных странах. Эти важные результаты, полученные только благодаря финансовой поддержке со стороны Германии (!), на время снимут обвинения России в загрязнении атмосферы метаном. Однако имеется еще множество причин давления на нашу экономику. Особенно с принятием новой конвенции по тропосферному озону. Ведь в стране нет центра, который эффективно координировал бы научные исследования по проблеме глобальных изменений, полностью отсутствует современная система мониторинга состава атмосферы, научные исследования в области химии атмосферы недостаточно развиты.

### ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ МЕРЫ

Из-за недальновидной политики правительства СССР страна оказалась в самом незавидном положении, участвуя в международном экологическом движении. К большому сожалению, до недавнего времени правительство РФ следовало прежним курсом. А впереди — принятие новых международных соглашений, еще глубже затрагивающих наши национальные интересы. Нет ничего хуже, чем пассивно ожидать миллиардных выплат за передачу части неиспользованных квот на выброс парниковых газов. Не будет их! Западные страны, исподволь продвигавшие включение этого пункта в международные соглашения еще со времен конвенции о трансграничном переносе, совсем не собираются платить. В соответствии с их национальными программами они планируют значительно сократить выбросы парниковых газов (см., например, Национальный отчет по плану действий в области изменения климата, США, 1996), в основном укладываясь в рамки принятых квот. При этом надо учитывать, что и оценки современных выбросов могут быть несколько завышены западными странами. Не имея системы контроля, мы можем полагаться только на те сведения, которые нам передают, и на те методики оценок, которые ими разработаны. Все идет к тому, и ско-

рее всего так было задумано, что Россия и другие технологически отстающие, но быстро развивающиеся страны вынуждены будут либо покупать квоты на эмиссии, либо сдерживать рост производства.

Россия сильно отстала от многих западных стран в области охраны окружающей среды. Из-за экологической разрухи, политической нестабильности и огромной территории, которую надо контролировать, нельзя ждать от правительства быстрой переориентации с проблем выживания на проблемы повышения качества жизни. Однако правительство не должно оставаться и далее пассивным, поскольку уже реально существует угроза национальной безопасности.

Несмотря на ограниченные финансовые возможности страны, вполне реально изменить ситуацию в лучшую сторону, если следовать следующим путем.

1. Создать координирующий научный центр, способствующий развитию исследований в области физики и химии атмосферы, математического и лабораторного моделирования, разработки экологически чистых технологий и веществ. Так как уровень обоснованности научных положений, на которых базируются международные соглашения, не очень высок по сравнению с потенциалом отечественной науки, существует возможность не только быстро занять лидирующую позицию в монреальском процессе, но и частично изменить направление его развития в интересах нашей страны. Создание такого центра требует в основном чисто организационных усилий и относительно небольшого финансирования на совершенствование экспериментальной базы. Многие из групп, которые могли бы в него войти, имеют сейчас международные гранты и поддержку Российского фонда фундаментальных исследований. Очевидно, эта поддержка будет только возрастать по мере роста научного влияния центра в стране и в мире.

2. Создать систему комплексного мониторинга атмосферы для получения

независимой информации о ее состоянии. Очевидно в ближайшие годы мы не сможем сравниться с США, Канадой, странами ЕС в этой области, но иметь минимум станций необходимо, чтобы хотя бы сколь-нибудь обоснованно отстаивать интересы страны. Таким минимумом могут стать две-три станции, удовлетворяющие самым высоким требованиям глобальной системы контроля атмосферы (сейчас в стране нет ни одной такой станции, в то время как в мире их несколько десятков) и уже упомянутая подвижная экологическая лаборатория на базе железнодорожного вагона.

Как показывает опыт первых российских-немецких экспериментов 1995—1998 гг., это — уникальное по эффективности средство контроля за состоянием атмосферы над большими континентальными территориями. Для России подвижная лаборатория — единственная возможность связать воедино разрозненные наблюдения в разных регионах, повысить их качество и дать целостную картину состояния атмосферы. Кроме того, такая лаборатория необходима для калибровки спутниковых систем слежения за атмосферой, и только она может связать национальные сети мониторинга различных стран, выполняя измерения на всем Евразийском континенте — от Португалии до Вьетнама. Владелец лаборатории может стать арбитром в межнациональных спорах по качеству сетей мониторинга и загрязнению атмосферы. Вот почему принципиально важно, чтобы владельцем, причем относительно независимым, осталась Россия.

В настоящее время специалисты из Института физики атмосферы РАН, из ВНИИ железнодорожного транспорта и Института химии Макса Планка работают над усовершенствованием лаборатории. Естественно, эти организации надеются получить и, очевидно, получают финансовую поддержку западных стран (около 1 млн долл. США на оборудование современных приборами и средствами связи).

3. Вовлекать в экологическое движение регионы. Многие из них жизненно заинтересованы в улучшении среды обитания: в защите от повышенной УФ-радиации в связи с уменьшением слоя озона (например, Восточная Сибирь), в уменьшении концентрации токсичных соединений (в воздухе городов и промышленных районов), в ликвидации природных и экологически неблагоприятных последствий изменения атмосферы и климата (все субъекты Федерации). Кроме того, многие регионы имеют возможность требовать возмещения убытков, связанных с загрязнением воздуха соседями (например, юго-запад России, испытывающий из-за преобладающих западных ветров мощное антропогенное давление со стороны Украины). Участвуя в экологических программах, регионы втягиваются в международное движение, что способствует активному сотрудничеству с различными научными и общественными организациями, развитию системы образования, туризма, увеличению занятости молодежи. Первые ростки такой заинтересованности уже видны на примере осуществления научных и природоохранных комплексных программ «Байкал», «Камчатка», «Ставрополье», которые наполовину финансируются за счет местных бюджетов.

4. Стимулировать природоохранные действия со стороны министерств, компаний, предприятий. Сейчас проблемы экологии многими руководителями напрямую связываются либо с опасностью попасть в тюрьму, либо с непомерными штрафами. Отсюда чисто формальное отношение к исполнению природоохранных требований, которые в массе своей несовершенны, а иногда и бессмысленны.

Будущее РАО «Газпром», РАО «ЕЭС России», равно как и многих других компаний, во многом зависит от правильного понимания и практического использования в своих интересах изменяющейся роли экологии в современном мировом процессе. Уже сейчас она стала действенным средством конкурентной борьбы. В дальнейшем эта

роль только повысится. Несомненно, авторитетное заключение ученых-экологов об удовлетворительной чистоте отечественной газовой индустрии на всех ее стадиях — добычи, переработки, транспортировки и потребления — открывает новые возможности в увеличении объемов добычи и продажи газа, в привлечении инвестиций и повышении котировок акций ПАО «Газпром». Такие же выгоды могут извлечь и отрасли, использующие тонкие технологии. Например, создание будущих сверхзвуковых самолетов неразрывно связано с возможным воздействием на озоновый слой и климат Земли. Жесткие ограничения на полеты в стратосфере могут сделать бессмысленными все многомиллиардные вложения в создание сверхзвукового пассажирского флота. С другой стороны, удачное использование экологических интересов общественности может привести к завоеванию новых рынков, большим прибылям, именно этого добились «Du Pont» и «ICI».

5. Создать благоприятные условия предприятиям для перехода на новые экологически чистые технологии и вещества. Не отказываясь от западной финансовой помощи, надо прежде всего развивать собственные исследования в этом направлении. В бывшем СССР не были востребованы многие разработки в области энергосбереже-

ния и защиты окружающей среды от загрязнения, в том числе не имеющие аналогов в мире технологии производства озонобезопасных веществ. Очевидно их внедрение могло бы дать быстрый экономический эффект.

В заключение отметим, что дальнейшее развитие мировой экономики и общественно-политических отношений тесно связано с оптимизацией использования природных ресурсов. Его масштабы уже настолько велики, что общество начинает сталкиваться с проблемами необратимых природных изменений практически повсеместно. Их изучение из-за множества труднопрогнозируемых связей всегда будет иметь широкие рамки неопределенности. В пределах этих рамок возможны различные решения, выгодные одним или другим странам, международным корпорациям. Чтобы бремя расходов, связанных с обеспечением мирового экологического прогресса не ложилось постоянно на богатую природными ресурсами Россию, нам необходимо войти в группу стран — лидеров, определяющих стратегию движения за экологическую безопасность.

В основу статьи положены исследования, выполненные под руководством автора по грантам РФФИ № 95-05-15082 и 98-05-64729.

## К 95-летию Ю. Б. Харитона



*Юлий Борисович Харитон (1904—1996).*

Юлий Борисович Харитон прожил долгую жизнь. Он родился 27 февраля 1904 г. и умер 19 декабря 1996 г., окруженный любовью и почтительным вниманием со стороны близких и коллег. В последнее время он иногда выступал в широкой печати с воспоминаниями, которые приподнимали завесу тайны над работой по созданию атомной и водородной бомбы. Но мало кто из историков, а тем более журналистов, может похвастаться тем, что успел как следует расспросить знаменитого Харитона. Слава патриарха атомных дел пришла к нему тогда, когда состояние здоровья уже мешало интенсивному общению. И немалая часть им пережитого, того, что долго скрывалось за печатью секретности, так и ушла от нас вместе с Юлием Борисовичем.

Широко известно, что академик Харитон — автор основополагающих работ по теории горения и взрыва. Вместе с Я.Б.Зельдовичем он дал строгий расчет цепной ядерной реакции деления урана. Был вовлечен И.В.Курчатовым в атомный проект. Стал главным конструктором в коллективе, ведущем разработку ядерного оружия. Трижды Герой Социалистического Труда, он до конца дней оставался почетным научным руководителем Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики в Арзамасе-16.

За этой беглой, хотя и внушительной, констатацией стоит не вполне раскрытая для нас личность. Возможно, что со временем у Харитона появится столько же биографов, сколько их у Курчатова и Королева. Но сейчас этого нет. Поэтому так дорого и интересно каждое малоизвестное слово Харитона и каждое живое свидетельство о нем.

Из одного издания в другое кочуют строки Зельдовича, впервые сказанные на страницах «Природы» (1983. № 6): «Я ощущаю как огромное везение в жизни, как огромное счастье свое пятидесятилетнее знакомство и дружбу с Юлием Борисовичем и особенно те двадцать лет, которые я проработал под его руководством. Благодарство, кристальная моральная чистота — все эти слова действительно, без преувеличения применимы к Харитону».

Сегодняшняя публикация в нашем журнале добавит для портрета новые краски. Мы предлагаем читателю выступление Юлия Борисовича, посвященное памяти Роберта Оппенгеймера, но много говорящее и о нем самом. Как вспоминает А.Ю.Семенов, внук Харитона, в 1994 г. Юлий Борисович получил предложение от Мемориального комитета Роберта Оппенгеймера, а затем и от директора Лос-Аламосской национальной лаборатории выступить с лекцией в рамках регулярных чтений. Харитону хотелось поехать, он дал согласие, но потом из-за нездоровья пришлось отказаться. Текст своего выступления Юлий Борисович послал в Лос-Аламос, там он был напечатан в виде маленькой брошюры на русском и английском языках, но в нашей стране фактически неизвестен.

## Особое выступление в память Роберта Оппенгеймера

Академик Ю.Б.Харитон

**Я** ПРИЗНАТЕЛЕН Мемориальному комитету Роберта Оппенгеймера за приглашение сказать несколько слов в его память и поделиться с его американскими коллегами и «наследниками» воспоминаниями об атомном проекте, который возник и был реализован в СССР со сдвигом в четыре года по отношению к Соединенным Штатам Америки.

К сожалению, мне известно не очень многое о личности Роберта Оппенгеймера, но то, что известно, заставляет меня относиться к нему с глубоким уважением. Читая о его жизни, я обратил внимание на несколько забавных совпадений в наших биографиях. Юлиус Роберт Оппенгеймер (его первое имя совпадает с моим первым) родился в том же 1904 году, что и я. Его мать, как и моя, имела отношение к искусству и, по-видимому, привила ему интерес к музыке, живописи и поэзии. В 1926 году Оппенгеймер ненадолго оказался в Кембридже в лаборатории Резерфорда, где я работал с 1926 по 1928 год. К сожалению, я не запомнил его. Думаю, что

на этом можно прервать список совпадений и вернуться к теме моего выступления.

Мне кажется, что начать я должен с нескольких, теперь уже исторических, обстоятельств, поясняющих род моих интересов и занятий еще со времен 20—30-х годов.

После двухлетней стажировки в Кембридже под руководством Резерфорда и Чадвика я работал до второй мировой войны в Санкт-Петербурге, тогдашнем Ленинграде, в Институте профессора Абрама Иоффе, в лаборатории будущего нобелевского лауреата Николая Семенова. После появления в 1938 году известных статей Гана и Штрассмана, в 1939—1940 годах — Мейтнер и Фришмы вместе с блестящим физиком Яковом Зельдовичем, тогда двадцатипятилетним юношей, рассчитали цепную реакцию деления ядер урана и опубликовали результаты наших исследований в 1939 и 1940 годах. Во время войны я занимался разработкой боевых взрывчатых веществ. А в 1943 году был приглашен профессором Игорем Курчатовым,

которого хорошо знал по петербургскому институту, участвовать в атомном проекте, руководителем которого в то время был назначен Курчатов.

В ходе этой работы я был назначен главным конструктором проектируемого изделия; в дальнейшем, после первых испытаний советских атомных бомб, в течение многих лет был научным руководителем «нашего Лос-Аламоса» — Института экспериментальной физики в закрытом городе Арзамасе-16, где продолжаю работать и сейчас.

Судя по тому, что мне известно из литературы и свидетельств коллег, побывавших у вас, есть нечто общее в закрытых городах, где проектировалось и было впервые изготовлено американское, а затем советское атомное оружие, хотя, разумеется, такие параллели возможны не без поправок на географию и различия в экономическом и тем более политическом строе — особенно в годы холодной войны.

У нас не водятся койоты, но я до сих пор помню, как едва не наступил на гнездо крупной птицы, высидивавшей птенцов у самой тропинки, по которой я углубился в лес во время первой рекогносцировки на месте будущего города Арзамаса-16. До сих пор жалею, что никому из нас не пришло тогда в голову позаботиться о сохранении встреченных в лесу остатков земляных укреплений шестисотлетней давности — оставшихся со времен татарского нашествия на Московскую Русь.

Уважаемые американские коллеги могут не сомневаться, что и во многих более современных чертах — скажем, организации стражайшей охраны и мер суrowой изоляции добровольных и не вполне добровольных затворников закрытого города — между нами было и есть весьма много общего. Полагаю, что и вам и мне немалая часть всего этого представляется в последние годы взаимной политической и даже военной открытости — в немалой степени анахронизмом.

Конечно, мои американские бывшие «противники» — сейчас, слава Богу, просто коллеги — хорошо знают (а кто-

то может и помнить) о тревожном ожидании сороковых годов: не грозит ли нам, тогда военным союзникам, услышать грохот германской атомной бомбы, испытать ее мощь на себе? Ваша «миссия Алсос» добилась впечатляющих успехов. Разыскав немецких физиков-атомщиков, интернировав их и убедившись в несостоятельности и слабости германского атомного проекта.

Тогда, в 45-м, в подобной же «миссии» советского атомного проекта пришлось участвовать и мне, и нам тоже достались кое-какие трофеи. Честно скажу — весьма важные для нас в то сложное время. Достаточно вспомнить, что у Советского Союза, разворачивавшего атомный проект с большим напряжением сил и средств — немалая часть нашей промышленности была разрушена войной, — практически не было разведанных месторождений урана.

Второго мая 1945 года мы вместе с профессором Исааком Кикоиным, ныне покойным, одетые наспех в военную форму (я носил знаки различия подполковника и, полагаю, не выглядел бравым офицером), прилетели в Берлин в день его капитуляции, когда там еще не утихли выстрелы. Через несколько дней нам удалось разыскать некое учреждение гитлеровского рейха, в котором хранилась огромная картотека самых разнообразных материальных ценностей, вывезенных Германией из оккупированных ею в годы войны стран. Там обнаружили и сведения об уране, к сожалению, без указания мест его хранения.

В конце концов после длительных поисков и расспросов, с помощью нескольких немецких ученых и антифашистов, при поддержке советского военного командования мы разыскали на территории скромного кожевенного завода бочки с окисью урана. Разумеется, весь запас был реквизирован и отправлен в СССР. Позже Игорь Васильевич Курчатов сказал мне, что, по его мнению, эта находка сэкономила нам примерно год работы.

В последнее время в печати широко обсуждается вопрос о роли развед-



ки в создании советского атомного оружия. Не вдаваясь в подробности, которые, наверное, многим из вас известны по многочисленным публикациям, хотел бы только отметить, что, несомненно, поступавшая разведывательная информация способствовала ускорению наших работ. Однако в целом эта информация сыграла важную, но вспомогательную роль, поскольку у нас существовал собственный альтернативный проект создания атомной бомбы, успешно реализованный примерно через два года после первого испытания.

Сегодня мне окончательно видятся наивными глубокомысленные рассуждения о «разных путях» становления и успеха наших двух проектов, о «принципиальных различиях» в их проведении в жизнь в условиях западной демократии и советской тоталитарной системы. Попытаюсь максимально коротко сформулировать свою точку зрения.

Шла война не на жизнь, а на смерть с фашизмом, в которой СССР и США были на одной стороне. И для решения грандиозной научно-технической проблемы создания атомного оружия демократической Америке пришлось пойти на фактически государственное планирование и управление Манхэттенским проектом, на суровейшие ограничения свободы для его участников.

Когда несколькими годами позже Советский Союз с его всеобъемлющей административной системой приступил к решению аналогичной проблемы, властям, вводившим те же меры сверхсекретности и сурового режима, пришлось пойти на некоторые уступки коллективам ученых, нуждавшихся, как и их американские коллеги, в творческом общении и определенной интеллектуальной свободе.

Гигантские проекты были успешно и поразительно быстро реализованы в первую очередь потому, что их руководители и многочисленные участники были людьми высокой квалификации и общей культуры. Без этого необходимого условия не могла бы быть реализована ни одна самая совершенная научная идея. Истоки этой культуры по обе стороны океана были одними и теми же — я имею в виду европейскую научную физическую школу. Мировой фронт исследований в области атомного ядра связан в первую очередь с именами Резерфорда, Бора и Ферми. Созданные ими научные школы и коллективы явились интернациональной кузницей для одаренной молодежи разных стран. В довоенные годы советские физики посещали лучшие европейские лаборатории. Так, Петр Капица и Кирилл Синельников оказались в лаборатории Эрнеста Резерфорда, Игорь Тамм — в институте Пауля Эренфеста, Лев Ландау — в институте Нильса Бора. С чувством глубокой благодарности я сам вспоминаю годы, проведенные у Резерфорда.

Сознавая свою причастность к замечательным научным и инженерным свершениям, приведшим к овладению человечеством практически неисчерпаемым источником энергии, сегодня, в более чем зрелом возрасте, я уже не уверен, что человечество дозрело до владения этой энергией. Я осознаю нашу причастность к ужасной гибели людей, к чудовищным повреждениям, наносимым природе нашего дома — Земли. Слова покаяния ничего не изменят. Дай Бог, чтобы те, кто идут после нас, нашли пути, нашли в себе твердость духа и решимость, стремясь к лучшему, не натворить худшего.

## Письмо Анны Алексеевны Капицы

В Архиве П.Л.Капицы (Институт физических проблем РАН) хранится копия письма от 19 апреля 1996 г., которое Анна Алексеевна написала Юлию Борисовичу:

*«Дорогой Юлий Борисович,*

*Сережа [С.П.Капица] дал мне прочесть Вашу брошюру памяти Оппенгеймера.*

*Вы не только сумели рассказать о первых шагах [атомного] проекта почти как в детективном романе, но, что глубоко трогает, это Ваш удивительный такт и доброжелательность ко всем коллегам, Ваше глубокое убеждение в необходимости общения, в международной науке.*

*В последнем абзаце в Вас заговорил древний Пророк, предостерегающий будущие поколения.*

*Чудесная, очень важная брошюра. Хотелось бы, чтобы ее прочли как можно больше людей.*

*Поражаешься, что в таком сжатом виде — всего несколько страниц — Вы смогли сказать так много и так мудро.*

*Всего Вам хорошего.*

*Всегда с любовью,*

*Анна Капица».*

По-видимому, это было последнее письмо Анны Алексеевны. 14 мая 1996 г., в возрасте 93 лет, она скончалась. 19 декабря ушел из жизни Юлий Борисович Харитон...

© Публикация П.Е.Рубина

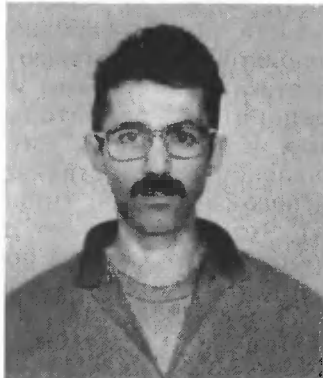


А.А.Капица и Ю.Б.Харитон на торжественном заседании, посвященном 100-летию со дня рождения П.Л.Капицы. Колонный зал Дома Союзов, 21 июня 1994 г.

Фото В.А.Генде-Роте. Из музея П.Л.Капицы

# «Гены предрасположенности» и генетический паспорт

В.С.Баранов, М.В.Асеев, Е.В.Баранова



*Владислав Сергеевич Баранов, доктор медицинских наук, заведующий лабораторией пренатальной диагностики наследственных и врожденных болезней Института акушерства и гинекологии им.Д.О.Отто РАМН, руководитель Всероссийского центра пренатальной диагностики муковисцидоза и Городского центра пренатальной диагностики (Санкт-Петербург). Основная область научных интересов — генетика развития человека, медицинская генетика, генная терапия. Лауреат премии им. А.А.Баева по программе «Геном человека» (1996).*

*Михаил Владимирович Асеев, кандидат биологических наук, научный сотрудник той же лаборатории. Известен как специалист в области молекулярной диагностики наследственных болезней, генетики человека, геномной дактилоскопии. Лауреат премии Европейской академии.*

*Елена Владиславовна Баранова, научный сотрудник Лаборатории цитогенетики, эмбриологии и гистологии Овернского университета (Клермон-Ферран, Франция). Основные научные интересы — фармакогенетика и экогенетика заболеваний, провоцируемых факторами внешней среды. Лауреат премии Международной ассоциации по исследованию эндометриоза 1998 г.*

**Н** АРЯДУ с решающими успехами Международной программы «Геном человека», которую предполагается завершить к 2005 г., все большее внимание привлекает и проблема разнообразия генома человека, т.е. генетического полиморфизма. Научное и прикладное значение этого сравнительно нового направления нашло отражение в двух недавно сформированных самостоятельных международных проектах

— «Разнообразие генома человека» («Human Genome Diversity Project»), возглавляемого известным американским специалистом по генетике человека Л.Ковалли-Сфорса<sup>2</sup>, и «Внешняя среда и геном человека» («Environmental Genome Project»), созданного в США по инициативе директора Национального института по гигиене окружающей среды К.Олдена<sup>3</sup>.

В рамках первого проекта исследования нацелены главным образом на

© В.С.Баранов, М.В.Асеев, Е.В.Баранова

<sup>1</sup> Баев А.А. Геном человека // Природа. 1995. № 4. С. 64—67.

<sup>2</sup> Harding R.M., Sajantila A. // Nature Genet. 1998. V.18. P.307—308.

<sup>3</sup> Brown P.O., Hartwell L. // Ibid. P.91—93.

решение фундаментальных научных проблем, связанных с происхождением человека, возникновением рас, этногенезом, антропологией, исторической лингвистикой и др. Задачи второго проекта носят преимущественно прикладной характер и касаются выяснения генетических (генных) основ индивидуальной чувствительности или устойчивости человека к различным неблагоприятным экзогенным факторам (экогенетика), а также к лекарственным препаратам (фармакогенетика). В ходе таких исследований и возникло представление о существовании «генов предрасположенности» («predisposing genes»). Что же такое «гены предрасположенности»? Для чего необходимо их изучать? Что могут дать человеку и человечеству в целом такие исследования? Что такое генетический паспорт? Нужен ли он? Каково его назначение? Ответам на эти и другие вопросы генетики человека и посвящена наша статья.

Итак, что такое «гены предрасположенности»? Вот что говорит по этому поводу Ф.Коллинс, директор Международной программы «Геном человека»: «Каждый из нас генетически несовершенен. По мере разработки все новых и новых генетических тестов у каждого человека можно обнаружить мутацию, предрасполагающую к тому или иному заболеванию». Таким образом, «гены предрасположенности» — это по сути мутантные аллели, которые совместимы с рождением и жизнью в постнатальном периоде, но при определенных неблагоприятных условиях могут способствовать развитию того или иного заболевания. В зависимости от природы провоцирующего фактора их относят к «генам внешней среды» («environmental genes») либо к генам-триггерам, запускающим патологический процесс при сочетании каких-то неблагоприятных факторов. В отличие от моногенных болезней, для возникновения которых достаточно наличие мутаций в структурном гене, эти заболевания принадлежат к наиболее многочисленной группе мультифакториальных болезней, в появлении кото-

рых повинны как генетические, так и экзогенные факторы.

## «ГЕНЫ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ»

Известно, что в организме детоксикацию ксенобиотиков (промышленных загрязнений, сельскохозяйственных ядов и фармакологических препаратов) осуществляют специальные ферментные системы и мембраноассоциированные рецепторы, регулирующие их активность, которые получили название «лекарственно-метаболизирующие энзимы». Процесс детоксикации обычно включает две последовательные фазы. Сначала поступающие в организм чужеродные соединения (канцерогены, лекарства, промышленные яды и пр.) активируются с помощью ферментов семейства цитохромов P450 или микросомальных эпоксид-гидролаз (mEPOX), образуя короткоживущие промежуточные электрофильные метаболиты, которые обладают генотоксическими свойствами (фаза 1). Затем эти промежуточные метаболиты с помощью ферментов семейства глутатионтрансферазы (GSTM), УДФ-глюкуронсульфотрансфераз (UDF), N-ацетилтрансфераз (NAT) превращаются в водорастворимые нетоксические продукты и выводятся из организма (фаза 2).

В настоящее время известно уже более 200 «генов внешней среды». Для многих из них выявлены генетические полиморфизмы, влияющие на функциональную активность их аллелей. Генетические исследования таких генов говорят о значительных межпопуляционных и межэтнических различиях их аллельного полиморфизма, что отражает своеобразие условий проживания, питания и образа жизни населения в различных регионах мира. Существенно, что в каждой группе ферментов, участвующих в детоксикации, обнаружены мутантные изоформы, функция которых может быть нарушена по сравнению с нормальными аллелями. В дальнейшем выяснилось, что эти функционально неполноценные аллели значительно чаще встречаются у лиц с различными заболеваниями, в

этиологии которых важную роль играют неблагоприятные экзогенные факторы. Гены, имеющие такие аллели, и можно рассматривать как «гены предрасположенности» к тем или иным заболеваниям (табл.1). Так, установлено, что неполноценный (нулевой) аллель глутатион-S-трансферазы (фаза 2), имеющий протяженную делецию, представлен в гомозиготном состоянии почти у 40% населения России. Этот генотип особенно характерен для больных раком легких, хроническим обструктивным бронхитом и раком мочевого пузыря. У лиц с таким генотипом на фоне алкоголизма чаще развивается цирроз печени. Имеются многочисленные сведения о высокой предрасположенности индивидов, гомозиготных по «ослабленному» аллелю гена GSTP1, к различным опухолям, в том числе к раку кожи и, как недавно установлено, даже к болезни Паркинсона. Это тяжелое нейродегенеративное заболевание, обусловленное избирательной гибелью допаминэргических нейронов в подкорковых отделах мозга, особенно часто наблюдается у людей после хронического воздействия пестицидов.

В последнее время получены интересные данные относительно участия гена GSTM1 в этиологии и патогенезе эндометриоза — загадочного мультифакториального заболевания, которое, согласно мировой статистике, встречается почти у 10% женщин белой расы<sup>4</sup>. Причина болезни связана с инвазией и опухолеподобными разрастаниями эндометрия вне полости матки, что вызывает тяжелые кровотечения, выраженный болевой синдром и бесплодие. В экспериментах на обезьянах, которым вводили субтоксические дозы диоксина, удалось получить модель эндометриоза. Это стимулировало нас изучить аллельный полиморфизм некоторых генов, участвующих в детоксикации ксенобиотика, в популяции северо-западного региона России и у больных эндометриозом. В совместных исследованиях с группой специалистов Овернского университета

мы установили, что популяционные частоты аллелей генов фазы 1 (P4501A1 и mEPHX) и у больных, и в популяциях России и Франции не отличались. Вместе с тем нулевой аллель гена глутатион-S-трансферазы (GSTM1 0/0-делеция в гене с отсутствием генопродукта) обнаружен почти у 80% больных эндометриозом во Франции и у 56% — в России при 42% данного аллеля в популяциях обеих стран. Медленная форма гена N-ацетилтрансферазы (фазы 2) у больных эндометриозом также встречалась заметно чаще в обеих популяциях. Больные с дефицитом глутатион-S-трансферазы (GSTM1 0/0), равно как и гомозиготы по медленному аллелю NAT-2 (S/S), оказались нечувствительными к иммуномодулирующей терапии, которая в других группах больных применялась весьма эффективно. Эти исследования, с одной стороны, доказывают роль неблагоприятных внешних факторов в этиологии эндометриоза, а с другой — свидетельствуют о том, что определенные аллели генов GSTM1 и NAT-2 способствуют возникновению этой болезни и могут влиять на эффективность ее лечения. Значит, скрининг таких аллелей позволяет выявлять женщин, предрасположенных к эндометриозу, и прогнозировать тактику его медикаментозной терапии.

Уже упоминавшийся ген NAT-2 (фаза 2), ответственный за синтез фермента N-ацетилтрансферазы-2, может способствовать возникновению рака молочной железы. Причем этот эффект наблюдается в прямой зависимости от курения женщин в постменопаузальном периоде. У женщин, гомозиготных по медленному аллелю этого гена (медленные «ацетиляторы»), курение в молодые годы, и особенно в постменопаузальном периоде, почти в 20 раз увеличивает риск рака молочной железы. В то же время у курящих женщин из группы быстрых «ацетиляторов» такой закономерности не отмечается. Столь же пагубные последствия для здоровья могут иметь и патологические аллели генов фазы 1 — цитохромов и эпоксидгидролаз. Так, лица, гомозиготные по необычной «медленной» форме микросомаль-

<sup>4</sup> Canis M., Lob F.H., Wattier A. et al. Endometriosis: Current understanding and management. Oxford, 1995. P.168—181.

Таблица 1  
«Гены предрасположенности»

ГЕН	МУТАЦИЯ/ ПОЛИМОРФИЗМ	ПЕРВИЧНЫЙ ДЕФЕКТ	ЧАСТОТА В ПОПУЛЯЦИИ	ЗАБОЛЕВАНИЕ
<b>ГЕНЫ «ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ»</b>				
GSTM1	del	Нарушение фазы 2. детоксикации	40% 0/0	Рак легких, хрон. бронхит, эндометриоз
NAT-2		Нарушение фазы 2 детоксикации	50%	Рак молочной железы
mEPHX	exon 3 T-C Tyr.-Hist.	Нарушение фазы 1 детоксикации	6%	Хрон. обстр. пневм., эмфизема, астма
P4501A1 (CYP1A1)	exon 7 A-G Ile-Val	Нарушение фазы 1 детоксикации	7% 27%	Рак легких
<b>ГЕНЫ-ТРИГГЕРЫ МУЛЬТИФАКТОРИАЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ</b>				
MTHFR	677 C-T (A-V)	Гомоцистеинемия	5% M/M 57% M/+	ДЗНТ, КБС, атеросклероз
VDR-3	exon 9 T-C (I-I)	Уменьшение mRNA	16% B/B	Остеопороз
ACE	del 287 bp Alu intr.16	Повышение активности фермента	30%	Инфаркт миокарда
ApoE	E2,E3,E4 15% T-C Cod.112;158	Гиперлиппротеинемия	15% E2/E2	Атеросклероз
CC16	A38G	Нарушение функции секреторного белка CC16	10% A/A	Астма
TGF-alfa	полиморфизмы BamH1 ex.VI-A1,A2 Taq1 intr.V-C1, C2	Нарушения смыкания небных полков		Врожд. уродства лицевого черепа
<b>«ПОЛЕЗНЫЕ» ПОЛИМОРФИЗМЫ</b>				
CCR-5	del 32 bp	Отсутствие хемокининового рецептора лимфоцитов	26% del/ +1% del/del	Устойчивость к СПИДУ

ной эпоксид-гидролазы (mEPOX), к которым относится до 6% населения России (табл.1), проявляют повышенную чувствительность к действию табачного дыма, различных оксидантов и соединений с усиленной продукцией свободных радикалов. У них чаще, чем в среднем в популяции, встречаются различные заболевания легких, в том числе эмфизема, хронические обструктивные пневмонии.

У больных муковисцидозом — тяжелым наследственным заболеванием, вызываемым мутациями в гене хлорных каналов (CFTR) эпителиальных клеток, чаще всего поражены легкие. У таких больных присутствие в геноме «медленного» аллеля гена mEPHX существенно увеличивает шансы особенно тяжелых легочных нарушений. Более того, есть основания считать, что при наличии очень медленного аллеля mEPHX нару-

шения функции легких возникают раньше и проявляются тяжелее, чем при нормальных аллелях этого гена. Недавние исследования сотрудничающей с нами Лаборатории Овернского университета убедительно доказали, что тяжесть клинического течения муковисцидоза, в особенности его легочных проявлений, напрямую зависит от присутствия функционально неполноценных аллелей GSTM1 и NAT-2. Следовательно, тестирование аллельного полиморфизма генов mEPHX, GSTM1 и NAT-2 у больных муковисцидозом, равно как и аллелей GSTM1 и NAT-2 у больных эндометриозом, можно использовать для прогноза клинического течения и разработки рациональной терапии этих недугов.

Таким образом, в настоящее время уже имеются достаточно обоснованные данные о том, что по крайней мере некоторые «гены внешней среды» не-

посредственно участвуют в возникновении ряда онкологических (рак молочной железы, рак легких, рак мочевого пузыря и др.) и неонкологических (хронический обструктивный бронхит, эмфизема легких, эндометриоз, болезнь Паркинсона) заболеваний. Не случайно поэтому популяционный скрининг аллельных вариантов генов *GSTM1* и *NAT-2* уже сегодня стал предметом широкого обсуждения<sup>5</sup>.

### ГЕНЫ-ТРИГГЕРЫ МУЛЬТИФАКТОРИАЛЬНЫХ БОЛЕЗНЕЙ

Поломки регуляторных генетических механизмов, приводящие к тяжелым мультифакториальным заболеваниям, могут быть спровоцированы не только функционально неполноценными аллелями «генов внешней среды», но и мутациями в структурных генах или генах-регуляторах, обеспечивающих клеточный гомеостаз. Для удобства изложения эту достаточно полиморфную группу генов мы называем генами-триггерами мультифакториальных болезней. К ним можно отнести онкогены, многие из которых играют решающую роль в возникновении опухолей, а также гены супрессоры (например *p53*), мутации в которых приводят к активации соответствующих онкогенов и включению цепи метаболических реакций, вызывающих в конечном счете трансформацию клеток. Для многих десятков таких генов уже известны неблагоприятные аллельные варианты, предрасполагающие к заболеваниям.

Рассмотрим некоторые из них. Так, ген рецептора витамина D3 (*VDR-3*) характеризуется наличием полиморфизма в экзоне 9, причем до 16% представителей белой расы — гомозиготы по функционально неполноценному аллелю этого гена. Именно у таких людей нередко возникает остеопороз — заболевание, обусловленное снижением минеральной плотности костей, что ведет к резкому увеличению вероятности пере-

ломов. Особенно характерна такая патология для женщин менопаузального и постменопаузального периода. Во многих странах мира отмечается увеличение частоты переломов костей, связанных с остеопорозом. Только в Великобритании ежегодно регистрируется около 50 тыс. переломов шейки бедра и 40 тыс. переломов позвоночника. Многие из таких случаев вызваны патологической ломкостью костей, связанной с остеопорозом. Досимптоматическая диагностика генетической предрасположенности к остеопорозу могла бы способствовать его эффективной профилактике.

Ген адренорецепторов (*AR*) — еще один пример гена-триггера мультифакториальных заболеваний. Продукт этого гена относится к группе ДНК-связывающих белков, куда входят и стероидные рецепторы, такие как рецептор витамина D, ретиновая кислота и тиреоидный гормон. Взаимодействуя с тестостероном и дегидротестостероном, продукт гена *AR* участвует в регуляции деления клеток в предстательной железе. Для этого гена характерно наличие в первом экзоне полиморфизма тринуклеотидного повтора *CAG*, кодирующего глутаминовую кислоту. Длина повтора колеблется у разных индивидуумов в популяции России от 8 до 31 триплета. При этом число повторов *CAG* обратно пропорционально активности транскрипции самого гена. Дальнейший анализ показал, что лица с высокой активностью гена *AR*, т.е. с низким числом повторов *CAG*, в среднем имеют больше шансов заболеть раком простаты, чем мужчины с более протяженным *CAG*-трактом. Следовательно, тестирование мужчин по данному полиморфизму может выявить генетическую предрасположенность к раку простаты задолго до начала заболевания, что позволит более рационально организовать его профилактику.

Достаточно хорошо изучен ген-триггер фермента метилентетрагидрофолатредуктазы (*MTHFR*), точечная мутация которого в положении 677 С-Т встречается в гомозиготном состоянии примерно у 5% населения. Следствием этого полиморфизма может быть выраженная ги-

<sup>5</sup> Meyer U., Zanger U.M. // *Ann Rev. Pharmacol.* 1997. V.37. P.269–297.

пергомощистеинемия, которая, в свою очередь, обнаруживает положительную корреляцию с коронарной болезнью сердца, атеросклерозом и, что особенно удивительно, с возникновением врожденных дефектов невральнoй трубки (расщелина спинного мозга, мозговая грыжа) у внутриутробных плодов. Полиморфизм в гене ангиотензинконвертирующего фермента (ACE), связанный с делецией Alu последовательности в интроне 16, встречается у 30% населения и рассматривается как генетический фактор предрасположенности к инфаркту миокарда. Наследственная предрасположенность к атеросклерозу зачастую ассоциирована с гомозиготностью по аллелю E2 гена ApoE, регистрируемой почти у 15% представителей белой расы.

Число уже известных генов-триггеров мультифакториальных заболеваний сегодня достигло 50 и быстро увеличивается. Только в последние годы идентифицированы мутантные аллели гена CC16, предрасполагающие в гомозиготном состоянии к астме (10% населения); мутации в гене Фактора V свертывания крови, резко увеличивающие вероятность тромбозов; наконец, аллельные полиморфизмы гена TGF2, коррелирующие с такими достаточно частыми аномалиями внутриутробного развития, как расщелина верхней губы (заячья губа) и незаращение твердого неба (волчья пасть).

Однако сравнительно частые мутации структурных генов далеко не всегда вредны для организма. Иногда, достаточно редко, они могут оказаться даже полезными. Обычно для иллюстрации данного положения ссылались на пример серповидноклеточной анемии в странах Средиземноморья, где мутации в глобиновых генах в гетерозиготном состоянии служат действенной защитой от малярии, тогда как в гомозиготном — оказываются летальными. Подобный сбалансированный полиморфизм недавно описан и для гена муковисцидоза (CFTR). Экспериментально доказано, что особи, гетерозиготные по мутациям гена CFTR, обладают повышенной устойчивостью к холерному токсину. Веро-

ятно, именно этим можно объяснить столь высокую частоту мутаций гена CFTR в популяции, несмотря на то, что в гомозиготном состоянии они приводят к тяжелому наследственному заболеванию.

Несколько лет назад был описан еще один необычный вариант генного полиморфизма, имеющий, как оказалось, непосредственное отношение к заражению СПИДом. Синдром приобретенного иммунодефицита, вызываемый вирусом HIV, — одна из грозных инфекций современности. Стремительный рост ее эпидемии стимулирует напряженный поиск защиты от этой чумы XX в. Известно, однако, что у части инфицированного населения болезнь развивается очень медленно, а отдельные индивидуумы обнаруживают к нему поразительную устойчивость. Установлено также, что эти различия обусловлены мутацией (делецией 32 пар нуклеотидов) в гене CCR-5, мембранный белковый продукт которого служит корцептором макрофаготропных штаммов вируса HIV. Отсутствие этого белка существенно затрудняет у гетерозигот или делает невозможным у гомозигот проникновение патогенного вируса в клетки. Мы определили частоту нулевого аллеля в различных популяциях России и стран СНГ: у русских и татар — 25%, у узбеков — до 15%, у казахов, азербайджанцев, уйгурцев и тувинцев — до 10%. У грузин данный аллель встречается крайне редко, т.е. в случае массового распространения вируса HIV именно эта популяция пострадает сильнее других<sup>6</sup>. Таким образом, тестирование по «нулевому» аллелю гена CCR-5 имеет принципиальное значение для выяснения межпопуляционных различий чувствительности к возможной пандемии СПИДа. Более того, уже сейчас такие тесты необходимы для рационального подбора медицинских кадров и обслуживающего персонала в специализированных клиниках.

<sup>6</sup> Асеев М.В., Шауи А., Дин М., Баранов В.С. // Генетика. 1997. Т.33. № 12. С.1724—1726.



Таблица 2  
Досимптоматическая диагностика моногенных болезней

ГЕН	МУТАЦИЯ	ЗАБОЛЕВАНИЕ
HD	(CAG) >27	Хорея Гентингтона
SCA1		
SCA2	(CAG)>27	Спинно-мозговая атаксия
DRPLA	(CAG)>30	Болезнь Мачадо-Жозефа
AR	(CAG)>30	Болезнь Кеннеди
MP-1	(CAG)>200	Миотоническая дистрофия
PS-1	Миссенс	
PS-2	мутации	Болезнь Альцгеймера
BRCA1	Точечные	
BRCA2	мутации > 100	Рак молочной железы ~ 5%
APC	Точечные	
	мутации > 150	Семейный рак толстой кишки 100 %

### ДОСИМПТОМАТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

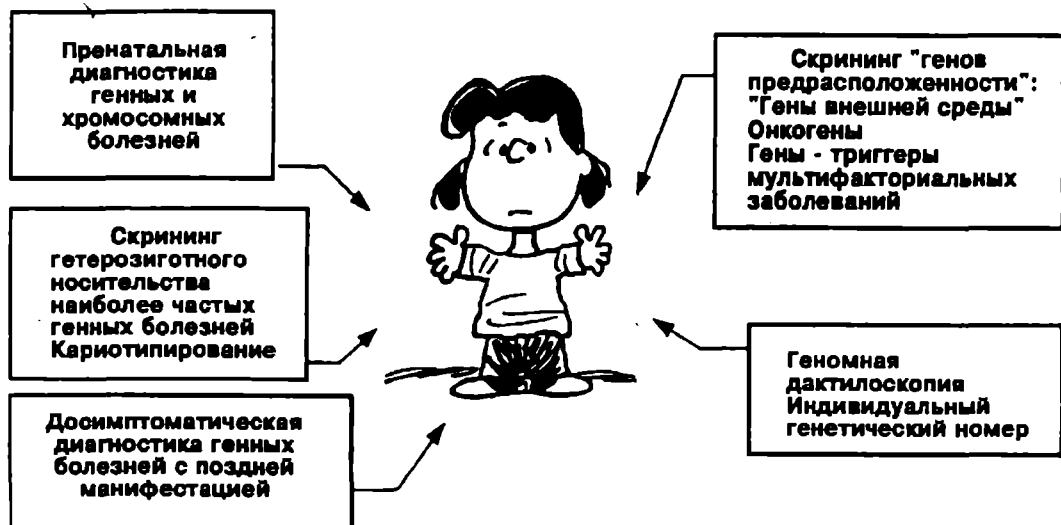
Понятие «гены предрасположенности» в известной мере можно рассматривать как противовес существовавшему ранее представлению о том, что мутации генов, кодирующих синтез определенных белков (так называемых «структурных генов»), неминуемо приводят к тем или иным наследственным болезням. Однако по мере углубления наших знаний о структурно-функциональной организации генома человека появляется все больше данных, не укладывающихся в эту жесткую схему. Прежде всего оказалось, что далеко не всегда и не все мутации структурных генов напрямую связаны с возникновением той или иной наследственной патологии. Обнаружена большая группа наследственных болезней с поздней манифестацией, например нейродегенеративные, вызываемые особым типом так называемых динамических мутаций, эффект которых проявляется уже во взрослом состоянии. Причем в зависимости от характера мутаций их тяжесть и клиника могут меняться в широком диапазоне. Например, очень поздно манифестируют и подвержены значительным функциональным модификациям мутации пресинилиновых генов (PS1, PS2), ответственных за болезнь Альцгеймера (старческое слабоумие).

Существенный вклад в клинический фенотип моногенных болезней вносят и различные трансдействующие мутации, приводящие к количественному и качественному сбою в работе индивидуальных генов. Сюда можно отнести и идентифицированные в последнее время весьма многочисленные и полиморфные по своим функциям гены-регуляторы, в частности гены факторов транскрипции. Сложность взаимоотношения генотип—фенотип нашла свое отражение в молекулярной гетерогенности наследственных болезней, смысл которой сводится к тому, что фенотипические особенности проявления мутантных генов даже при моногенных болезнях зависят от многих факторов, в том числе от генов, мутации и полиморфизмы которых могут влиять на экспрессию главного гена<sup>7</sup>. При этом, однако, следует учитывать, что основной причиной болезни остаются мутации структурного гена, тогда как другие гены могут только усиливать и ослаблять патологический эффект его мутации. Следовательно, в случае моногенных болезней «гены предрасположенности» тождественны генам-модификаторам. Их тестирование важно для понимания взаимоотношения генотип—фенотип.

Однако особую практическую ценность представляет непосредственно

<sup>7</sup> Гайцхоки В.С. // Соровский образовательный журн. 1998. № 8. С.36—41.

## ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ (Индивидуальная база данных)



молекулярное тестирование самих структурных генов. Для некоторых моногенных наследственных заболеваний с поздней манифестацией уже сегодня реальна досимптоматическая диагностика (табл.2). Помимо нейродегенеративных заболеваний и болезни Альцгеймера к их числу относят и рак молочной железы. По данным ВОЗ, это грозное онкологическое заболевание приводит к смерти до 12% женщин. В последние годы идентифицированы два гена (BRCA1 и BRCA2), мутации которых ответственны примерно за 5% случаев рака молочной железы. К сожалению, большие размеры этих генов и отсутствие мажорных (доминирующих по частоте) мутаций ограничивают их досимптоматическое тестирование. Но недавно в некоторых этнических группах (евреи-ашкенази) удалось выявить отдельные мажорные мутации, что позволило разработать быстрые способы их тестирования. Интенсивные работы в этом направлении продолжаются. Другое серьезное онкологическое заболевание — семейный аденоматозный полипозный рак толстого кишечника. Благодаря наличию точно идентифицированного гена (APC) и высокой (почти 100%-й) частоте

*Возможный вариант генетического паспорта: слева — необходимые процедуры для получения индивидуальной базы данных, справа — пример конкретных результатов.*

те заболевания у носителей мутантных аллелей стала возможной эффективная досимптоматическая диагностика. Отметим, что диагностическая ценность молекулярных тестов «главных» генов, ответственных за то или иное конкретное заболевание, безусловно, более весома, чем тестирование «генов предрасположенности».

### ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ

Приведенные выше факты свидетельствуют о большом медицинском и социальном значении тестирования аллелей «генов предрасположенности» и структурных генов заболеваний с поздней манифестацией. Нет сомнений в том, что при достаточно высоком уровне медицинского обслуживания выявление лиц с наследственной предрасположенностью к той или иной патологии чрезвычайно важно для профилактики, лечения и прогноза течения заболеваний. Таких генов в настоящее время

Совершенно секретно

## ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ рядового жителя Земли, 2007г.

Идентификационный номер: 4 5 1 2 7 1 3 1 9 3 7 4 8

Национальность

КАРИОТИП	2n=46; XX
Транслокации	-
Инверсии	inv(9)
Др. особенности	-

СЕМЕЙНЫЙ РИСК по муковисцидозу F508/+
--

<b>ДОСИМПТОМАТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА</b>
Нейродегенеративные заболевания HD +/+; SCA1 +/+; SCA2 +/+; DRPLA +/+; AR +/+; MP-1 +/+
Рак молочной железы BRCA1 185 del AG/+; BRCA2 +/+
Семейный рак толстой кишки (FAP) APC +/+
Болезнь Альцгеймера PS-1 +/+ PS-2 +/+
Другие болезни

<b>СКРИНИНГ ГЕТЕРОЗИГОТНОГО НОСИТЕЛЬСТВА МУТАЦИЙ:</b>	
MDD-дистрофии	+/+
HA -FVIII	+/+
PKU-PAH	+/+
AGS- CYP21B	+/+
SMA-SMN	+/+
NAIP	+/+

<b>СКРИНИНГ "ГЕНОВ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ"</b>
<b>A. "ГЕНЫ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ"</b> CYP2D6 CYP1A1 - Ile/Ile mEPHX S/S NAT-2 S/R GSTM1- 0/0
<b>B. ОНКОГЕНЫ</b> p53 Ras Другие онкогены
<b>C. ГЕНЫ-ТРИГГЕРЫ (ПРОВОКАТОРЫ) МУЛЬТИФАКТОРИАЛЬНЫХ БОЛЕЗНЕЙ</b> Остеопороз VDR-3 - T/T Атеросклероз MTHFR - 677 C-T/+ ApoE - E2/E4 Дефекты невальной трубки MTHFR - 833 T-C -/+
Инфаркт миокарда ACE -287bp -ins/del
Рак простаты AR - Инсулинзависимый диабет IDDM-1- HLA - DR3/DR4 IDDM-2; IDDM-3; IDDM-4
Чувствительность к СПИДу 32 del CCR-5/+

<b>ГЕНОМНАЯ ДАКТИЛОСКОПИЯ</b> vWF-4/5; ApoB-12/7; AR -13/19 HPRT -3/7; STRX1 4/8; HLA
---

<b>МЕДИКО-ГЕНЕТИЧЕСКОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ВРАЧА-ГЕНЕТИКА: РОДИТЕЛЯМ СЕМЕЙНОМУ ДОКТОРУ СУБЪЕКТУ</b>
Особенности питания, воспитания, образования, профориентации, занятия спортом и пр.

известно более 200. Среди них «гены предрасположенности» к остеопорозу (VDR-3), дефектам зарращения нервной трубки (ДЗНТ), коронарной болезни сердца (КБС) и атеросклерозу (MTHFR), инфаркту миокарда (ACE), атеросклерозу (ApoE), аденоме и раку простаты (AR), диабету (IDDM-1 и <5), астме (CC16) и др. Известны также онкогены (Ras, Mic) и антионкогены (p53), мутации которых с

большой вероятностью ведут к различным опухолям. Уже идентифицированы гены, мутации которых не только предрасполагают, но и с большой вероятностью вызывают серьезные заболевания (BRCA1, BRCA2 — рак молочной железы, PS-1, PS-2 — болезнь Альцгеймера и др.). Быстро увеличивается и список наследственных болезней с поздней манифестацией, для которых вполне

реальна ранняя досимптоматическая диагностика в любом возрасте (хорея Гентингтона, другие нейродегенеративные заболевания, рак толстой кишки, щитовидной железы и др.).

Наконец, уже сегодня можно выявлять гетерозиготное носительство наиболее частых смертельных наследственных болезней в семьях высокого риска (муковисцидоз, миодистрофия Дюшенна, фенилкетонурия, синдром Мартина—Белла, гемофилия, спинальная мышечная атрофия, аденогенитальный синдром). Очень важно, что эти и многие другие тяжелые наследственные недуги с успехом диагностируются еще пренатально, что позволяет предотвратить рождение больных детей. В настоящее время во многих странах мира, в том числе и в России, уже проводится генетическое тестирование и многие родившиеся имеют информацию о своем геноме, включая кариотип и аллельные варианты отдельных генов.

Таким образом, детальное изучение генома человека привело не только к идентификации генов, мутации которых служат непосредственной причиной многих наследственных болезней, но и к выяснению генетической природы факторов, влияющих на течение патологического процесса и предрасположенность к тем или иным тяжелым мультифакториальным заболеваниям.

Сегодня вполне реальна не только пренатальная диагностика наследственных болезней, но и их досимптоматическая диагностика; выявление гетерозиготного носительства мутаций в семьях высокого риска стало важным разделом медико-генетической службы. Все чаще поднимается вопрос о целесообразности не только индивидуального, но и массового контроля «генов предрасположенности». Если учесть, что генетическая идентификация личности методами геномной дактилоскопии уже широко используется не только в криминалистике, но и в других социальных сферах, то вполне закономерен вопрос о целесообразности разработки и путей внедрения в жизнь своеобразного генетического паспорта (индивидуальной базы данных) для каждого человека.

Анализ возможного варианта такого паспорта показывает, что каждый человек независимо от возраста может получить достаточно полную информацию об уникальных особенностях своего генома, в том числе об аллельном составе многих «генов предрасположенности» к мультифакториальным заболеваниям. Естественно предполагать, что при наличии такой базы данных, высококвалифицированном и своевременном медико-генетическом консультировании, взвешиваемом семейном докторе, внимательных родителях и разумном индивидууме такой генетический паспорт, видимо, был бы весьма полезен на всех этапах жизни человека. Своевременная коррекция питания, профорientации и пр. позволили бы избежать многих катастроф, способствовали профилактике многих недугов, обеспечили творческое долголетие. К сожалению, реальная ситуация значительно сложнее.

Однако генетический паспорт не только открывает новые горизонты для здравоохранения, но и порождает массу серьезных социальных и этических вопросов, которые пока остаются без ответа. Какие институты здравоохранения и каким образом смогут обеспечить его эффективное использование? Кто реально будет иметь доступ к индивидуальной базе данных? Как будет обеспечена ее строгая конфиденциальность? В какой мере она может приниматься во внимание при вступлении в брак? Эти и многие другие вопросы, связанные не только с генетическим паспортом, но и вообще с генетическим тестированием, все чаще становятся предметом широких дискуссий. Их анализ говорит о том, что в целом человечество пока не готово к эффективному восприятию достижений современной генетики. Не случайно в материалах Всемирной организации здравоохранения за 1998 г., посвященных этическим аспектам медицинской генетики, подчеркивается, что пресимптоматическое тестирование можно проводить только по желанию, только в случае возможной реальной пользы для пациента или его родственников, при условии максимально объективного информирования пациента о

результатах тестирования. Эксперты рекомендуют воздерживаться от любого тестирования детей до их совершеннолетия, т.е. до тех пор пока они сами не смогут принять обдуманного решения в отношении такой процедуры<sup>8</sup>. Тем не менее, учитывая, что наши знания о геноме человека непрерывно углубляются и постепенно проникают во все области жизни, прежде всего в медицину, есть все основания думать, что все эти вопросы со временем будут непременно решены. Подготовка высококвалифицированных специалистов по медицинской генетике, свободно ориентирующихся в геноме человека, рост генетической грамотности населения, разработка хорошо продуманных юридических правил и норм генетического тестирования — неперемные условия для достижения такой цели.

Задача повышения уровня генетического образования широких слоев населения актуальна не только в России, но и во всем мире. Европейский комитет по биомедицинской этике еще в 1994 г. начал проект «Этика генетического скринирования» («Euroscreen»), а в феврале 1997 г. открыт первый

Международный генетический консультативный центр (Манчестер, Великобритания), в котором любой человек может получить квалифицированную консультацию по любой медико-генетической проблеме, в том числе по вопросам прогностического тестирования<sup>9</sup>.

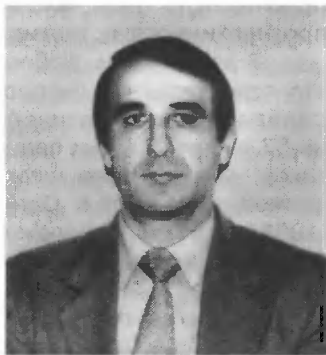
В заключение любопытно отметить, что при закрытом голосовании о целесообразности генетического паспорта из 57 отечественных специалистов-генетиков — участников школы по экологической генетике в Санкт-Петербурге (1998) — 47 дали положительный ответ, 3 — отрицательный и 7 — неопределенный. При этом, однако, большинство респондентов подчеркнули необходимость соблюдения строгой конфиденциальности и добровольности такой паспортизации. По убеждению авторов, методом проб и ошибок, через жаркие дискуссии человечество XXI в. придет к идее генетического паспорта на более высоком научном и правовом уровне.

<sup>8</sup> Proposed International Guidelines on Ethical Issues in Medical Genetics and Genetic Services // Report of WHO Meeting. Geneva, 1998.

<sup>9</sup> Chadwick R. // Genome Digest. 1998. V.5. № 1. P.7.

# Ультразвуковая эхолокация ночных бабочек

Д. Н. Лапшин



*Дмитрий Николаевич Лапшин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории Института проблем передачи информации РАН. Область научных интересов — акустическая ориентация ночных чешуекрылых в пространстве и стратегия насекомых по противодействию эхолокационной системе летучих мышей.*

**С**ОВКИ (*Noctuidae*), или ночницы, — самое богатое видами семейство чешуекрылых, которое включает более 20 тыс. видов (в нашей стране около 2 тыс. видов). Теплыми летними вечерами эти пушистые бабочки со сверкающими желтыми глазами часто бьются о стекла дачных веранд, привлеченные светом ламп. К семейству совок принадлежат также красивые крупные бабочки — «ленточницы», или «орденские ленты», (*Catocalinae*) с красным, желтым или голубым рисунком на задних крыльях. Эти совершенно безобидные создания чаще всего страдают от коллекционеров за свою красоту. Совки кормятся нектаром цветов или забродившим соком растений, но в стадии гусеницы нередко становятся злейшими вредителями сельского хозяйства. Из них особенно известны капустная совка (*Mamestra brassicae*) и совка озимая (*Agrotis segetum*).

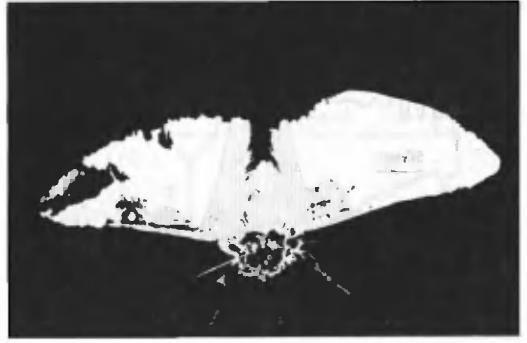
Свое название совки получили из-за сходства с совами, а внешний облик тех и других во многом определяется спецификой ночного образа жизни. Имеются и другие элементы конвергентного сходства: зрение, адаптированное к очень низкой освещенности, высокочувствительная слуховая система и, как необходимое условие реализации возможностей слуха, — способность к бесшумному полету. И совы, и совки используют слух при пассивной локации: птицы по характерному шуршанию определяют положение добычи, а бабочки, воспринимая эхолокационные сигналы летучих мышей, могут вовремя сманеврировать и уйти от своего основного врага.

В отличие от системы пассивной локации сов, эхолокатор летучих мышей — активная система, так как они сами излучают ультразвуковые зондирующие импульсы. С помощью эхолокатора

мыши хорошо ориентируются в полной темноте, при полете в густых зарослях улавливают акустические отражения от мелких насекомых даже на фоне листвы. Бабочки могут услышать громкие щелчки мышей с расстояния 35 м; это в пять-шесть раз больше дальности обнаружения насекомого мышью. Такое соотношение заставило хищников перестраивать стратегию охоты. Некоторые виды мышей, подлетая к жертве, не пользуются эхолокатором, а ориентируются на шум полета самого насекомого; другие перестраивают свою локационную систему в сторону снижения громкости зондирующих сигналов и смещения доминирующих частот в те области ультразвукового диапазона, в которых совки менее чувствительны.

Планомерно изучать акустические взаимоотношения летучих мышей и бабочек начали в 50-е годы с появлением адекватного оборудования. Эти исследования неразрывно связаны с именами американских ученых К.Редера, Э.Трита, Г.Эйджи, В.Адамса, канадца Дж.Фулларда и датских биоакустиков под руководством А.Михельсена. Благодаря усилиям этих и многих других исследователей были установлены основные количественные соотношения в системе «эхолокационного противодействия» ночных бабочек и летучих мышей.

Однако не все известные факты хорошо вписывались в концепцию защитной функции слуховой системы бабочек. В частности, совки, обитающие на островах (Гавайских и Фарерских), где нет летучих мышей, тем не менее воспринимают ультразвуки так же хорошо, как и их континентальные собратья. Возможно, предки островных бабочек когда-то соседствовали с летучими мышами, но их пространственная изоляция от хищников длится уже несколько десятков тысяч лет. Сохранность у островных совков высокой акустической чувствительности в широком диапазоне частот указывает на то, что их слуховая система может выполнять не только функцию защиты от летучих мышей. Интересно, что у бабочек, перешедших

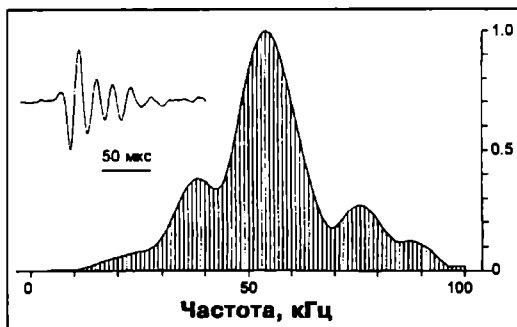


*Совка, освещенная импульсной лампой в момент регистрации эхолокационного щелчка.*

от ночного образа жизни к дневному, обнаружены признаки редукции слуховой системы.

Еще в прошлом веке было известно, что многие ночные бабочки в полете сами издают короткие щелчки. Сигналам медведиц (*Arctiidae*) ныне приписывают защитно-предупредительную функцию, поскольку в отличие от большинства других эти насекомые несъедобны. Совки (как самцы, так и самки) в полете также могут щелкать. Человек способен услышать эти звуки, напоминающие тихие разряды статического электричества. Субъективно невысокую громкость щелчков можно объяснить тем, что только малая часть спектральных составляющих сигнала сосредоточена в том диапазоне частот, который доступен нашему слуху. Способность совков к акустической эмиссии нельзя объяснить в рамках сложившейся концепции защитного поведения, поскольку, издавая ультразвуки, они только демаскируют себя перед летучими мышами, использующими при эхолокации тот же диапазон частот.

Предположение о способности ночных бабочек к эхолокации впервые высказал английский энтомолог Г.Е.Хинтон на заседании Лондонского Королевского энтомологического общества в 1955 г. Идея вызвала резонанс: появилось несколько работ, в том числе с теоретическими расчетами возможной дальности действия эхолокатора бабочек. Оценки разных исследователей от-



*Осциллограмма и спектр акустического щелчка совки *Atripura repleta*. По вертикальной оси спектрально-графика — амплитуда (относ. ед.) гармонических составляющих в линейном масштабе.*

личались более чем на порядок — от 10 см до 2 м. И хотя техника 50-х годов уже позволяла экспериментально проверить эхолокационную гипотезу, это направление по каким-то причинам не получило развития.

О способности ночных бабочек к активной акустической локации писал отечественный энтомолог Г.Н.Горностаев. «Принято считать, что тимпанальные органы бабочек служат для перехвата ультразвуковых импульсов охотящейся летучей мыши. Однако едва ли эта их роль является основной, а тем более единственной. На наш взгляд, бабочки, летающие в самое темное время суток, должны иметь, подобно летучим мышам, эхолокационную систему, в которой тимпанальные органы могли бы выполнять функцию приемников отраженных сигналов»<sup>1</sup>.

Для того чтобы проиллюстрировать динамику полета совки средних размеров (длиной 3 см) со скоростью 1 м/с в привычных человеку масштабах, проведем простой расчет: за 1 с бабочка пролетает 1 м или 33 своих габарита. Автомобиль длиной 3 м, проезжающий за 1 с 33 свои длины, движется со скоростью 100 м/с или 360 км/ч. Какое надо иметь зрение, чтобы при такой скорости ориентироваться, пользуясь

светом от звезд? Следует отметить, что совки на открытых пространствах летают со скоростью, значительно превышающей 1 м/с. Однако в зарослях бабочки обычно летят медленно, но и освещенность там за счет затенения листвой примерно на порядок меньше, чем под звездным небом. Таким образом, даже очень чувствительного зрения может быть недостаточно для ориентации в быстро меняющейся обстановке. Надо, правда, признать, что в отличие от автомобиля столкновение насекомого с препятствием не станет столь катастрофическим событием.

При планировании экспериментов по изучению эхолокационных способностей бабочек нам пришлось решать целый комплекс взаимно противоречивых задач. Первая и, может быть, наиболее сложная — как разделить ориентацию, основанную на эхолокационной и зрительной информации? Если бабочкам замазать глаза какой-нибудь краской, они перестают летать, а если опыты проводить в темноте, то как регистрировать поведение насекомого? Инфракрасную технику мы не стали использовать, поскольку у ночных бабочек уже давно подозревают способность воспринимать длинноволновое оптическое излучение. Во-вторых, бабочки во время полета сильно возмущают воздушную среду. Рядом с летящим насекомым и за ним от каждого взмаха образуются воздушные вихри. Предметы, попадающие в зону этих вихрей, неминуемо искажают воздушные потоки, а такие изменения бабочка в принципе может почувствовать с помощью многочисленных механорецепторов, расположенных на ее крыльях и теле. И наконец, при постановке опытов желательнее иметь какую-то априорную информацию о параметрах гипотетической эхолокационной системы, так как экспериментальные установки, основанные на расчетной дальности действия 10 см и 2 м, могут быть конструктивно совершенно разными.

Самые первые наши опыты базировались на простой мысли: какой бы ни была максимальная дальность дей-

<sup>1</sup> Горностаев Г.Н. Введение в этологию насекомых-фотоксенов // Тр. Всесоюзного энтомологического общества. Л., 1984. Т.66. С.101—167.



ствия эхолокации, бабочка должна чувствовать предметы непосредственно рядом с собой, поскольку именно они создают реальную угрозу столкновения. Мерой близости преграды может служить длина крыла насекомого. Для совки средних размеров ближнюю границу действия эхолокатора можно принять равной 3 см. Отраженная с такого расстояния звуковая волна вернется к бабочке спустя 0.18 мс после излучения зондирующего щелчка — для беспозвоночных это очень малый интервал. Неоднократно измеренное в электрофизиологических опытах временное разрешение тимпанных (слуховых) органов совки составляет, по разным оценкам, 2.5—4 мс, т.е. более чем на порядок больше ожидаемой задержки эха. Таким образом, результаты анализа известных данных вроде бы говорят о невозможности разделения слуховой системой собственного щелчка и отраженного сигнала. Определить, так это на самом деле или нет, можно было только с помощью эксперимента.

Наш метод получил название «ретрансляция», или в новомодном варианте — «виртуальная преграда». Бабочке посылали сигналы, имитировавшие эхо от несуществующего (виртуального) предмета. Щелчки, издаваемые подопытным насекомым, регистрировались микрофоном. Электрические импульсы с выхода микрофона после усиления использовали для запуска эхоподобного стимула, который излучали обратно в сторону бабочки с минимальными задержками относительно исходного сигнала. Специфика экспериментов заключалась в том, что стимуляция определялась акустической эмиссией самой бабочки. Тем самым осуществлялся «диалог», ведущая роль в котором принадлежала подопытному насекомому. Используемая система стимуляции не содержала ни одной подвижной детали, что обеспечивало независимость получаемых результатов от зрения насекомого и его ветровой (аэродинамической) чувствительности. Бабочку перед опытом приклеивали теплым воском к концу тонкого поводка датчика горизон-

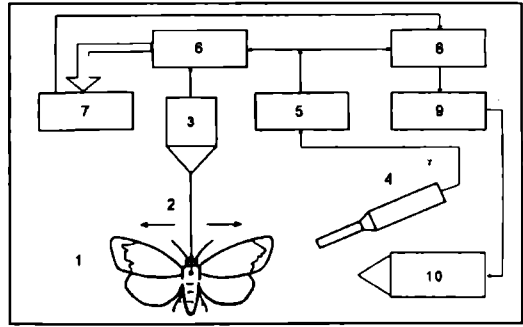
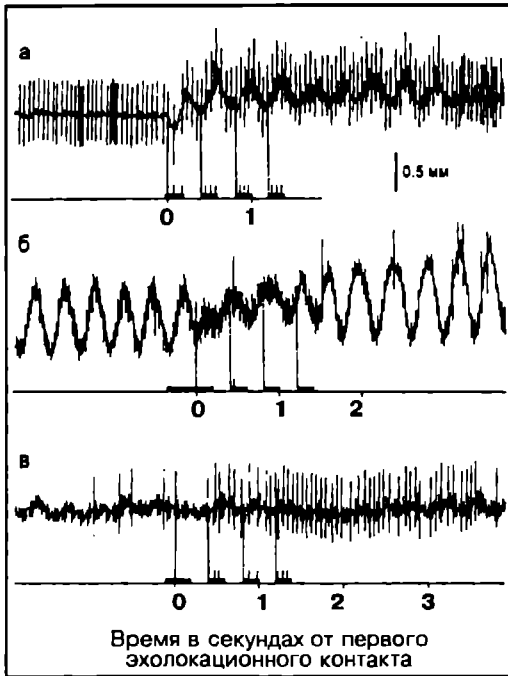


Схема установки для исследования реакций совки на эхолокационные сигналы. Бабочка (1), укрепленная на поводке (2) датчика горизонтального смещения (3), летит и издает зондирующие ультразвуковые щелчки, регистрируемые микрофоном (4). Сигналы с выхода датчика движения (3) и микрофонного усилителя (5) поступают на аналого-цифровой преобразователь (6), связанный с компьютером (7). Компьютер управляет электронным ключом (8). В открытом состоянии ключ разрешает запуск генератора эхоподобного стимула (9) от собственного сигнала бабочки. Акустический стимул излучается в сторону насекомого конденсаторным динамиком (10).

тального смещения, позволявшего параллельно с акустической активностью регистрировать маневры насекомого в ответ на стимуляцию.

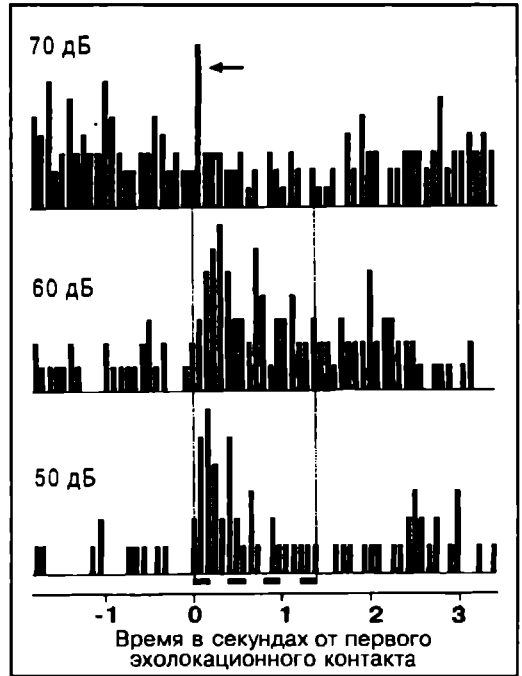
Уже на самой первой, еще весьма несовершенной, установке были получены результаты, определившие направление поисков. Оказалось, что некоторые совки (не все) в ответ на ретрансляцию начинали маневрировать, менять характер полета и учащать щелчки. Из дальнейших наблюдений выяснилось, что использовать маневры насекомых как признак реакции неудобно из-за высокой спонтанной подвижности бабочек, а перемены в характере полета, как правило, трудно формализовать. Наиболее достоверным признаком реакции бабочек на ретрансляцию эхоподобных стимулов оказалась частота повторения зондирующих щелчков<sup>2</sup>. После различных усовершенствований метода виртуальной преграды появилась возможность получать статистически достоверные результаты уже на отдельных экземплярах. Это в свою очередь позво-

<sup>2</sup> Лапшин Д.Н., Воронцов Д.Д. // ДАН. 1998. Т.362. № 4. С.567—569.



Реакция совки на стимулы, имитировавшие эхо от их собственных щелчков (ретранслированные сигналы): вверху — отклонение в сторону источника эха, в середине — резкое уменьшение амплитуды рыскания по курсу, внизу — увеличение частоты эмиссии зондирующих щелчков. Непрерывные линии на каждой осциллограмме отражают смещение бабочки в горизонтальной плоскости, быстрые колебания соответствуют взмахам крыльев насекомых. Вертикальные линии на фоне осциллограмм — моменты эмиссии бабочками эхолокационных сигналов. Черными прямоугольниками обозначены периоды готовности установки к ретрансляции; вертикальные линии на фоне готовности — моменты появления ретранслированных эхо-сигналов.

лило планомерно исследовать эхолокационные способности бабочек, принадлежащих к разным таксонам. За счет высокой надежности выявления реакций насекомых на эхоподобные стимулы в ряде случаев удалось также перейти от качественных исследований к количественным. Так, в результате трех последовательных опытов с одним и тем же экземпляром вида *Agrotis ypsilon* показано, что в ответ на громкие эхоподобные стимулы (70 дБ) наступало торможение эмиссии, но при снижении амплитуды ответных щелчков до 50–60 дБ (ожидаемая амплитуда эха в реальной ситуации) торможение сменялось повы-



Гистограммы распределения акустических щелчков совки *Agrotis ypsilon* в процессе ее стимуляции ретранслированными щелчками. Точке 0 на оси времени соответствует момент первого эхолокационного контакта в каждом предъявлении. Щелчки первого эхолокационного контакта при построении гистограмм не учтены. При больших уровнях стимула (70 дБ) акустическая активность бабочки подавляется, при стимуляции более слабыми сигналами (60 дБ и 50 дБ) повышается. Стрелка указывает пик, соответствующий тем щелчкам, которые бабочка излучала сразу после первого акустического контакта (перепроверка эхолокационной информации?). Каждая гистограмма построена по результатам десяти предъявлений.

шением активности. При пересчете полученной чувствительности на расстояние, максимальная дальность действия эхолокационной системы этой бабочки была бы не менее 30 см.

Опыты с ретрансляцией сигналов показали, что совки могут воспринимать эхо, следующее с малыми задержками относительно их собственных щелчков. Но предстояло еще выяснить, действительно ли эхолокация помогает им ориентироваться в пространстве в условиях недостаточной освещенности (в темноте)?

В поисках ответа на этот вопрос мы использовали так называемую кару-

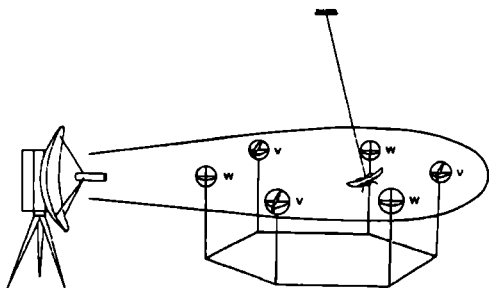
сельную установку. Бабочка, приклеенная к тонкой проволочке, летала в плоскости преград двух типов, расположенных через один по кругу: три — сравнительно хорошо отражавших ультразвук (акустически «светлые») и три с низким коэффициентом отражения (акустически «темные»). В ходе опыта регистрировали эхолокационные щелчки бабочки и ее касания о преграды разных типов. Акустически «светлые» преграды — уголкового отражатели с ортогонально расположенными поверхностями или пластмассовые шары. Акустически «темные» — неортогональные уголкового отражатели или сетчатые сферы, почти прозрачные для акустических волн. Уголкового отражатели, собранные из трех взаимно перпендикулярных пластин, имеют замечательное свойство: отраженная звуковая волна распространяется обратно, в ту же сторону, откуда пришла падающая, независимо от угла падения<sup>3</sup>. Если пластины в отражателе расположены не под прямым углом друг к другу, а, например, под углом 80°, то отраженные от такой системы звуковые волны в основном будут проходить мимо насекомого — источника акустического сигнала.

Эксперименты строились, исходя из предположения, что бабочки, обнаружив препятствие, попытаются избежать столкновения. Действительно, в большинстве случаев совки в темноте реже сталкивались с акустически «светлыми» преградами, но только на фоне собственных щелчков, т.е. они использовали эхолокационную информацию для ориентации в пространстве<sup>4</sup>. Однако некоторые бабочки определенно стремились к источнику эха. Видимо, эти насекомые пытались сесть на обнаруженный субстрат, что весьма характерно для испуганных совок. Позже в сходных экспериментальных условиях мы обнаружили особую (мертвую) зону, внутри которой способность бабочек

маневрировать была резко снижена. Другими словами, поведение насекомых зависит также от относительных координат встречных предметов.

Сопrotивление потоку воздуха «темных» и «светлых» уголкового отражателей отличалось незначительно, а сопротивление со стороны пластмассовых «светлых» шаров было существенно больше, чем у «темных» сетчатых сфер. Не щелкавшие в ходе экспериментов бабочки одинаково касались и уголкового отражателей, и сфер. Это означает, что в эксперименте совки не чувствовали или не учитывали информацию об искажениях аэродинамических потоков, идущих от близко расположенных преград. В противном случае вероятность касания «светлых» и «темных» сфер была бы различной.

Анализ результатов экспериментов позволил оценить максимальную дальность действия их эхолокатора — примерно 30—40 см. Реальный уровень эха зависит от многих условий: неровности отражающей поверхности, угла ее наклона и т.д. Такие факторы, как правило, неблагоприятно влияют на амплитуду



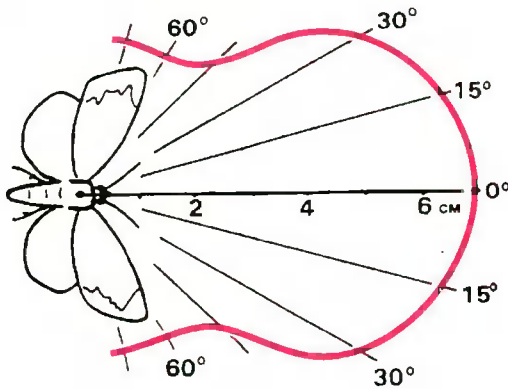
*Схема установки для изучения способности бабочки ориентироваться с помощью эхолокации; совка, укрепленная на тонкой проволочке, летает в плоскости расположения шести преград двух типов: хорошо (W) и слабо (V) отражающих ультразвук в сторону насекомого. Специальная электронная схема определяет моменты касания бабочки с любой из преград. Слева сбоку — микрофон с параболическим рефлектором для регистрации эхолокационных щелчков бабочки; диаграмма направленности этой системы изображена тонкой линией в виде лепестка, внутри которого находится карусельная установка с бабочкой. Относительные геометрические пропорции установки не соблюдены.*

<sup>3</sup> Оптические аналоги таких устройств — велосипедные цветные пластмассовые катафоты, ярко вспыхивающие в свете фар.

<sup>4</sup> Лапшин Д.Н., Федорова М.В., Жантиев Р.Д. // ДАН. 1993. Т.331. № 6. С.781—783.



*Фрагмент протокола опыта с совкой *Atriphuga perflua* в карусельной установке. Верхняя строка — эхолокационные сигналы насекомого. На нижней строке вертикальными линиями отмечены моменты касания о соответствующий отражатель. Во время эхолокационных щелчков бабочка избегает преград (W), хорошо отражающих ультразвук. При отсутствии эхолокационных сигналов бабочка равновероятно касается преград обоих типов.*



*Граница мертвой зоны (показана цветом), внутри которой бабочки не реагируют на встречные преграды.*

ду отраженной волны. Это приводит к уменьшению радиуса чувствительности эхолокатора в несколько раз по сравнению с максимально возможным. Однако есть исключения: например, коэффициент отражения обычного древесного листа со стороны вогнутой поверхности может быть больше единицы за счет концентрации акустических волн. Если зондирующий сигнал отражается от препятствия со сложной формой поверхности, например коры большого дерева, то можно ожидать появления на входе тимпанных органов последовательности акустических импульсов, разделенных малыми (0.1—0.3 мс) временными интервалами, пропорциональными пере-

падам в рельефе. Реакция слуховых рецепторов в этом случае эквивалентна действию одиночного щелчка с большей амплитудой. За счет такого эффекта потери при отражении эхолокационных сигналов могут быть частично скомпенсированы.

Анализ траекторий полета совок около шаровых отражателей показал, что уже спустя 30 мс после излучения зондирующего щелчка (период одного взмаха крыльев) бабочка поворачивает в сторону от преграды. Такое быстрое действие достигается за счет прямых контактов слуховых рецепторов с нейронами, участвующими в управлении полетом. Видимо, основное назначение эхолокатора совок — контроль за положением окружающих предметов около работающих крыльев, т.е. как раз там, где возможности зрения особенно низки из-за больших угловых скоростей смещения элементов окружения. На малых углах визирования (т.е. прямо перед насекомым) способность бабочек реагировать на эхо заметно ограничена (мертвая зона). Этот факт позволяет предположить, что зрение и эхолокация дополняют друг друга.

Как было выяснено в специальных экспериментах, предъявление бабочкам изображений быстро приближающихся предметов может вызывать у них эхолокационные щелчки. Это говорит о том, что задача слежения за встречными объектами передается в центральной нервной системе насекомого последовательно от зрительной системы к эхолокационной. Совместное действие этих двух систем обеспечивает безопасность в «полетном коридоре» в кронах деревьев и кустарников, где расстояния между ветками и листьями измеряются сантиметрами.

Бабочка при столкновении с острыми предметами, например с сучками или хвоей, может повредить крылья. Такие дефекты, с одной стороны, понижают реальную чувствительность совок к ультразвуковым сигналам летучих мышей из-за роста собственного шумового фона (поврежденные бабочки начинают заметно «шуршать» в полете) и, с

другой — акустически демаскируют их перед хищниками. Повреждение крыльев также снижает маневренность насекомого. Таким образом, качество аэродинамики крыльев и их структурная целостность во многом определяют резерв времени, который есть у бабочки для того, чтобы избежать нападения летучей мыши. Использование эколокации уменьшает вероятность механических повреждений крыльев, т.е. оправдано с точки зрения повышения индивидуальной безопасности.

Автор очень признателен М.А.Каверину за моральную и материальную поддержку, благодаря которой была осуществлена большая часть экспериментальной работы. С А.Л.Бызовым неоднократно обсуждалась концепция эколокации бабочек в ее современном виде. Автор с благодарностью будет помнить эту «школу».

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 96-04-50881).

## КОРОТКО

В июле 1998 г. в Синтре (Португалия) состоялось совещание западноевропейских министров по охране окружающей среды, входящих в группу «Ospar» («Осло—Париж»). На совещании было принято решение: добиться к 2000 г. значительного сокращения выхода радиоактивных веществ в окружающую среду, а к 2020 г. свести их количество до уровня, близкого к нулю.

По мнению экспертов, это не потребует закрытия заводов по переработке ядерных отходов; такие предприятия, как Селлафилд в

Великобритании или перерабатывающий завод на мысе Аг во Франции, должны будут перейти на сухой метод хранения радиоактивных отходов вместо сбрасывания их в море.

Nature. 1998. V.394. № 6692. P.407 (Великобритания).

Известно, что высокая концентрация серы в дизельном топливе снижает эффективность работы катализаторов, приводя в конечном ито-

ге к повышению уровня загрязнения атмосферного воздуха. В июле 1998 г. министры по охране окружающей среды стран ЕС пришли к соглашению об уменьшении предельного содержания серы в дизельном топливе к 2000 г. до 0.035% и к 2005 г. — до 0.005%. Это решение вызвало недовольство представителей экологических организаций, считающих, что нормы должны быть более жесткими.

New Scientist. 1998. V.159. № 2142. P.26 (Великобритания).

## Черный гриф еще ждет нашей помощи

Б.А.Аппак

Крымский природный заповедник  
Украина

**К**РЫМСКИЕ горы. Прекрасное солнечное утро. Ошеломляюще свежий, после жаркого, пахнущего выхлопными газами города, воздух. Перехожу по упавшему бревну реку и попадаю в зеленый мир, над которым, кажется, невластно время. Тропа идет серпантинном, напрямик не подняться. На скалистом утесе заброшенная оленья кормушка. Здесь можно отдохнуть. Выхожу на открытое место. Я бываю здесь довольно часто и все-таки всегда восхищаюсь необъятным простором, голубым небом, причудливыми скалами, птичьим хором.

Дальше идти трудней. Осыпи, обрывы, не хватает воздуха. Из-под ноги вылетает камень, катится вниз, увлекает за собой другие камни... Шум затихает где-то далеко внизу. Снова шум камней. На этот раз виновники — муфлоны. Они почуяли человека и торопятся удрать подальше. Последние годы звери стали очень осторожны, и не знаешь, радоваться этому или печалиться. Муфлоны с завидной легкостью убегают вверх по склону.

Осторожно вскарабкиваясь по осыпи, достигаю цели. Место, где когда-то гнездились три пары черных грифов

(*Aegypius monachus*), опустело. На вершинах вековых сосен видны осиротевшие, разрушившиеся, никому не нужные теперь огромные гнезда. С гор сползли тучи, заслонили солнце, начался мелкий надоедливый дождь. От мух нет спасенья — лезут в лицо, раздражают. Настроение безнадежно испорчено. Нам часто говорят, что нашей работе можно позавидовать. Сейчас это кажется насмешкой.

Черные грифы — одни из самых крупных летающих птиц с огромными, до двух с половиной метров в размахе, крыльями. Под стать птицам — гнезда, на них может поме-



Слеток черного грифа.

Фото В.Г.Парубова

ститься взрослый человек. Без заметных усилий часами прячут грифы высоко в небе, используя воздушные потоки. Корм благодаря исключительному зрению видят с головокружительной высоты. Самоотверженность, с которой родители насиживают свое единственное яйцо и ухаживают за птенцом, поражает.

Гнезда — открытые, ничем не защищены. В полдень — зной, ночью — холод, ливни, град, а иногда и снег. Гнездиться птицы начинают очень рано, иначе птенец не выкормить. Четыре долгих месяца тянется гнездовой период. Однако, когда птенец подрастет и покинет гнездо, семья не распадается до следующей весны, родители опекают молодую птицу. Гриф — не только символ, он и санитар Крымских гор: поедая павших животных, предотвращает распространение опасных заболеваний. Это природное явление, к сожалению, почти не исследовано, и если грифов не спасти, так и не узнаем, чем мы им обязаны.

Эти удивительные птицы в Крыму вымирают: в 70-х

годах на падали слеталось до 60 грифов, а в последние годы мы не видели стаи больше чем из 14 особей. Виноват во всем человек. Птиц беспокоят во время гнездования, отстреливают для изготовления чучел, отлавливают. Но основная причина — недостаток корма, грифы просто погибают от голода. Когда-то на Бабуганской и Никитской яйлах паслись огромные отары овец, здесь птицы кормились павшими животными и тем, что оставалось после убоя. Теперь тут заповедник, выпас скота запрещен. Приспособились грифы добывать пищу на птицефабриках и кролиководческих фермах, но и тут последнее время им ничего не достается.

По склону горы, с тяжелым сердцем, ухожу к другому распадку. Там тоже было когда-то несколько гнезд, однако несколько лет в них никто не селелся. Самку на гнезде замечаю издали. Она меня тоже увидела. Затаиваюсь. Долго рассматриваю гнездо в бинокль. Птенец нет. Может, мамаша его прикрывает? Выхожу на от-

крытое место, птица снимается с гнезда и улетает куда-то вниз. Все, больше надежды нет. Надо уходить. В последний раз навожу бинокль и... из-за края гнезда медленно появляется сначала голова, а потом и туловище пуховичка. Хорошо вижу, как птенец осторожно осматривается. Хочется понаблюдать еще, но, боясь потревожить птиц, быстро ухожу от гнезда. Домой, несмотря на плохую погоду, возвращаюсь в отличном настроении.

Нет, мы не можем смириться с оскудением природы Крыма. Надежда еще есть. Для спасения черных грифов и других редких видов животных и растений в Крыму при поддержке Государственной экологической инспекции создан общественный благотворительный фонд. Разработана основанная на многолетних наблюдениях программа, направленная на стабилизацию и увеличение численности этой одной из самых редких на Земле птиц. Только всем миром можно сохранить все величие и разнообразие природы Крыма.

# Когда природа пишет с чистого листа

В. И. Булавинцев



*Валерий Иванович Булавинцев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН. Научные интересы связаны с изучением приполярных фаун, формирования комплексов животных на техногенных территориях.*

**Е**СЛИ верить истории, железный век ступил на нашу грешную землю всего лишь несколько тысячелетий назад. Но теперь представить жизнь современного человека без железа совершенно невозможно.

Добыча железной руды дело очень трудоемкое. Извлекают ее чаще всего из-под земли, с большой глубины. Громады шагающих экскаваторов с тупой жадностью голодных динозавров грызут землю, роя глубокие траншеи-рвы. Неправдоподобно огромные суперсамосвалы, надсадно воя мощными дизелями, выволакивают бесконечные десятки и сотни тонн руды, по-жучьи медленно выползая, один за другим, из глубины карьеров.

Выбрав руду из очередного рва, машина экскаватора, лязгая металлом и сотрясая землю, пятится, отползая назад, и роет новую траншею, параллельную предыдущей, сбрасывая землю перед собой в ров, в котором руды уже нет.

Уложить взбудораженную землю так же плотно, как лежала она веками, дело немыслимое, и от того возникают техногенные ландшафты: отвалы, гряды холмов и залитые водой рвы, остающиеся на месте конечных траншей выработки.

В недалеком прошлом плодородный слой почвы закапывали, и на поверхности оказывались грунты, поднятые с глубины десятков метров, зачастую токсичные. Позже верхний слой почвы стали отсыпать на предварительно разровненную поверхность отвалов. Но это мало что меняет, поскольку в результате длительного хранения в кучах-буртах плодородие ее сильно ослабевает. По сути на отвалах, разровненных или оставленных в виде холмов, уничтожается все живое.



Израненное тело земли, грубо использованное и брошенное, обильно сочится влагой порушенной плоти, но через год-полтора грунты оседают, поверхность подсыхает и уплотняется, готовясь принять новоселов. И они не заставляют себя ждать.

### ПОЧВЕННЫЕ ПЕРВОПОСЕЛЕНЦЫ

Первыми осваивают брошенные земли микроводоросли, мхи и сорные травы, столь обычные для городских свалок, строительных площадок и свежесыпанных дорожных кюветов. Появившись на отвалах, года через два-три эти растения дают пищу и кров почвенным и напочвенным беспозвоночным животным: коллемболам, клещам, паукам, многоножкам, земляным червям и различным жукам.

Молодые, 5—8-летние, техногенные участки — экстремальная жизненная среда. Тем не менее почвенная фауна формируется здесь быстро, а ее состав во многом сходен с населением естественной залежи или сухих песчаных биотопов, т.е. местообитаний открытого типа. Объясняется это тем, что характерные для них беспозвоночные в большинстве своем — экологически выносливые формы.

Конечно, численность и видовое разнообразие почвенных беспозвоночных на отвалах ниже, чем на естественной залежи или в лесу. В ненарушенных местообитаниях самыми многочисленными бывают дождевые черви, в первую очередь обитатели собственно почвы (ее минеральных слоев), такие как экологически выносливый вид — *Nicodrilus caliginosus*. Этот же вид обычен и на молодых отвалах.

К пяти—восемью годам техногенные территории, заросшие травами, успешно заселяются и многоножками. Из пяти найденных здесь видов особенно примечательны два — *Schizotaenia ornata*, эврибионт, одинаково легко осваивающий естественные залежи, луга и леса, и *Pachymerium ferrugineum*, который кроме отвалов обнаружен только на лугах. Заслуживает внимания еще один

вид — *Monotersobius curtipes*, многочисленный в молодом естественном лесу и довольно обычный, но малочисленный в старом.

Личинки насекомых тоже довольно быстро появляются на отвалах. Но в отличие от естественных местообитаний здесь чаще встречаются личинки стафилинид, жулици и двукрылых насекомых, а не долгоносиков и щелкунов.

Редкое заселение техногенных земель личинками жуков-щелкунов закономерны, поскольку они очень чувствительны к влажности и содержанию органического вещества в почве. На разровненных сухих песчаных отвалах, крайне бедных органикой, их не бывает вовсе, а на холмах приживаются только виды *Agriotes obscurus* и *A. sputator*, относительно неприхотливые к влажности почвы и обычные в открытых биотопах типа залежи.

### КАК НА СТАРОЙ ЗАЛЕЖИ

Земли, неиспользуемые в сельском хозяйстве, к 10—15 годам покрываются травами и кустарниками, обретая вид залежи — заросшей пашни. Вслед за изменением растительного покрова меняется и население животных. Обитатели открытых мест уступают арену жизни жителям лугов и опушек. Природа лечит самой себя чудодейственным средством — экологической сукцессией, т.е. сменой одних сообществ другими.

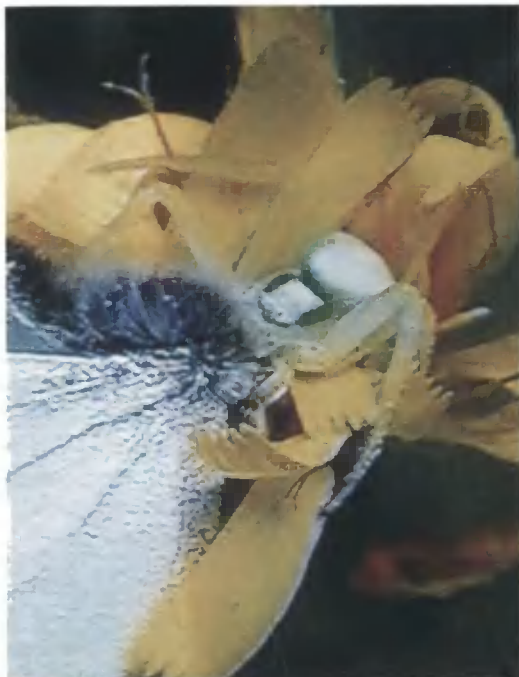
Увеличивается численность червей, но только за счет одного почвенного вида *N. caliginosus*, а вот разнообразие многоножек снижается, хотя их общее количество заметно растет.

Что же происходит в напочвенном ярусе? Здесь условия среды во многом определяют ход почвообразовательных процессов, в частности скорость разрушения и преобразования растительных и животных остатков на поверхности почвы. Из-за недостаточного увлажнения отвалов, полностью зависящего от атмосферных осадков, отсутствуют активные разрушители подстилки — кивсяки и мокрицы, столь обычные в старом естественном лесу. Из напочвенных



*Отвалы-ходмы: пятилетние (вверху), во многих местах уже покрытые травами, и зарастающие лесом.*

*Фото Н.П.Васильевой*

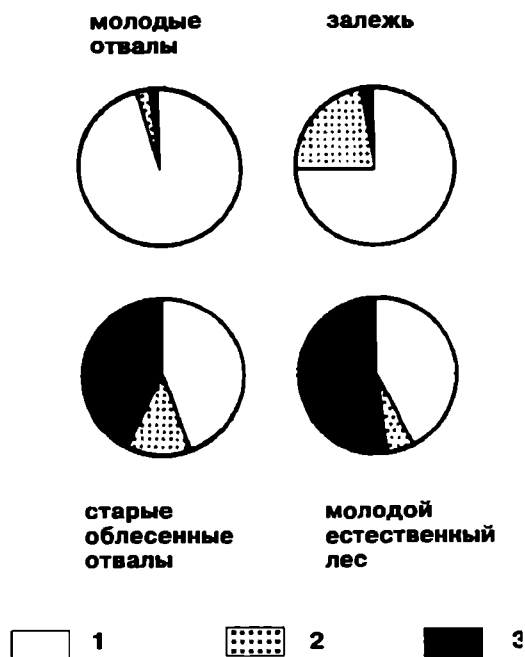


Обитатели травостоя на отвалах: паук бокоход (вверху слева), высасывающий бабочку-белянку; растительноядная жужелица на злаковом волосе (вверху справа); бабочка павлиний глаз (внизу слева) и шмель, прилетевшие за нектаром.

Здесь и далее фото автора

беспозвоночных животных на отвалах в основном приживается одна группа насекомых — жужелицы. Среди них, как и на залежи, по численности и видовому разнообразию преобладают эврибионтные (живущие в разных условиях) и лугово-опушечные виды.

Уже к 10 годам на неразровненных участках формируется комплекс из широко распространенных на залежи видов, обитателей травянистой и кустарниковой растительности. Это, например, клоп *Zygus pratensis*, цикадка *Philaenus spumarius*, паук *Dictyna arundinacea*, божья коровка *Coccinella septempunctata*,



Соотношение экологических групп жужелиц на неразровненных отвалах и окружающих природных территориях. 1 — эврибионты; 2 — лугово-лесные виды; 3 — лесные виды.

долгоносики родов *Apion*, *Sitona*, *Tychius*, *Phytonomus*.

Жители ненарушенных естественных участков — различные земноводные, мелкие мышевидные и насекомоядные млекопитающие — довольно успешно заселяют техногенные территории с начала их существования. Видовой состав таких вселенцев на отвалах-холмах и на соседних с ними природных землях по сути одинаков, чаще всего это обитатели открытых пространств. В неглубоких прогреваемых лужах и бочагах находят приют и место для размножения многочисленные земноводные: зеленая жаба, чесночница, жерлянка, тритоны и водные беспозвоночные; на земле — млекопитающие: обыкновенная полевка, изредка встречается малая бурозубка. С течением времени меняется лишь количественное соотношение отдельных видов.

## ЛЕС С НЕЛЕСНЫМИ ЖИТЕЛЯМИ

К 25—30 годам отвалы покрываются древесной растительностью. Пока на них остается травяной покров, сохраняется и сходство с населением естественных открытых местообитаний. Однако в дальнейшем, если все пущено на самотек, жизнь чахнет и угасает.

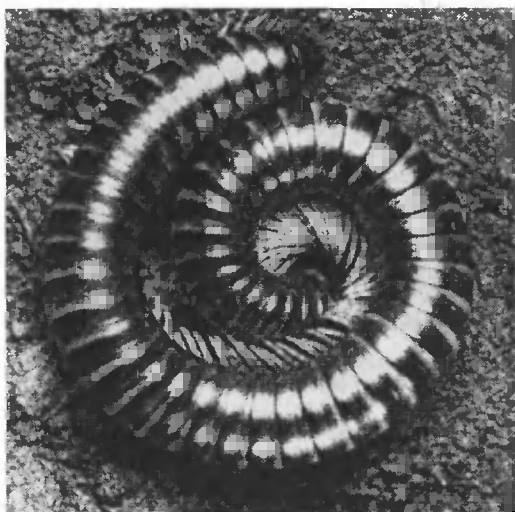
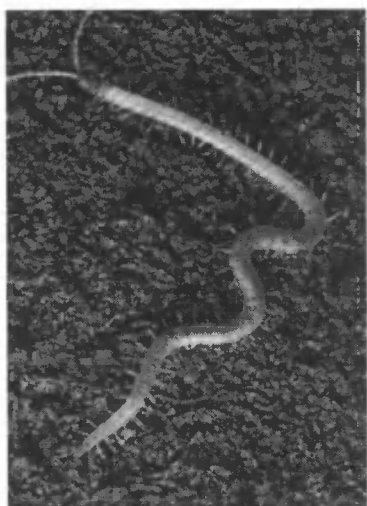
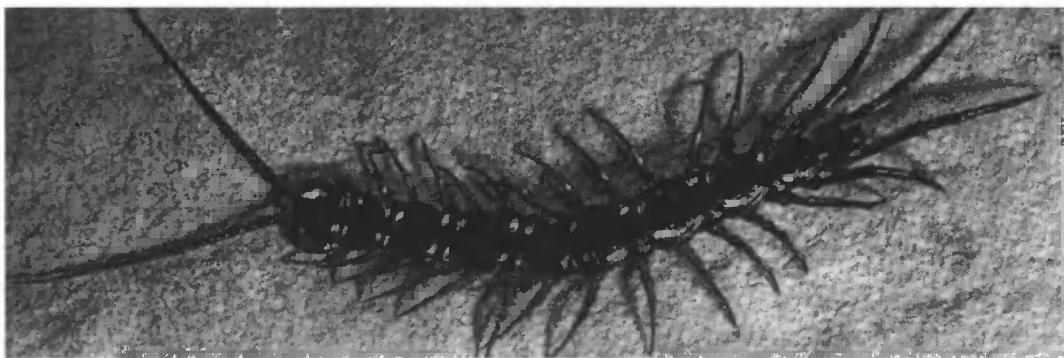
На техногенных землях, зарастающих лесом, черви продолжают жить благополучно, но только в увлажненных понижениях, причем комплекс их резко отличается от лесного по соотношению численности отдельных видов: преобладают не типично почвенные виды, как в естественном лесу, а обитатели верхних слоев почвы и подстилки. На сухих, облесенных отвалах червей очень мало, почти нет.

Видовое разнообразие многоножек снижается по мере старения отвалов с древесной растительностью, и в конце концов остается один-единственный вид — экологически выносливая геофилида *Schizotaenia ornata*.

Надо сказать, что заселение отвалов многоножками из группы геофилид, или землянок, вероятно, объясняется тем, что они обладают морфологическими и экологическими свойствами, которые позволяют им жить в условиях неустойчивости окружающей среды. Это, например, защитный жировой слой на внешних покровах тела, снижающий потерю влаги; размещение яиц в виде кладки; ее охрана и увлажнение ухаживающей за ней взрослой особью.

Многоножки другой группы — литобииды, или костянки, обычные в естественном лесу, перечисленных преимуществ не имеют, нуждаются в стабильном увлажнении и на техногенных землях не приживаются. По этой же причине нет на облесенных отвалах личинок лесных видов жуков-щелкунов (*Athous haemorrhoidalis* и *A. niger*).

На сухих песчаных разровненных отвалах с посадками сосны почвенная фауна целиком состоит только из личинок насекомых, причем более 90% их численности приходится на несколько видов жужелиц и пилюльщиков (из ро-



**Многоножка:** обитатели почвы – *костянка* (вверху) и *землянка* (внизу слева) – и напочвенный житель *клевяк*. На отвалах приживаются только экологически выносливые *землянки*. (Станек В.Я. Иллюстрированная энциклопедия насекомых. Прага, 1977.)

дов *Harpalus*, *Amara*, *Burricus*), обитателей легких песчаных грунтов.

Итак, на облесенных отвалах судьба почвенной фауны жестко контролируется режимом увлажнения. На сухих высоких местах, заросших мелколиственными деревьями (березой, осиной и ивой), развитие фауны заметно замедляется, а в условиях максимальной обедненности среды обитания — в старых сосновых посадках на сухих песках — почвенный комплекс беспозвоночных попросту деградирует. По мере смыкания сосновых крон, уже к 10 годам,

общие численность и биомасса почвенной фауны уменьшаются в 10 раз — до 10 особей и 30 мг на 1 м<sup>2</sup>.

Комплекс жужелиц, сформировавшийся в напочвенном ярусе молодых отвалов, сохраняется в значительной степени и на старых: по-прежнему преобладают эврибионтные и лугово-лесные виды. Однако появляются и лесные, среди которых доминирует *Pterostichus niger*. А в общем по численности и видовому разнообразию жужелиц старые облесенные отвалы напоминают молодой естественный лес. Правда, сходство это не полное — на техногенных территориях нет видов, требовательных к пористости и увлажненности верхних слоев почвы, например обычной в лесах жужелицы *Trechus secalis*. Собственно лесные виды редки и малочисленны. В количественном отношении выделяется



*Бурый пауколов, житель молодых отвалов, тащит парализованного паука.*

*Желтая трясогузка, как и многие другие воробьиные, заселяет отвалы среднего возраста.*

*Broscus cephalotes* — вид, типичный для рыхлых прогреваемых субстратов.

Успешное заселение отвалов жуками объясняется тем, что они в меньшей мере, чем обитатели почвы, зависят от влажности среды обитания, а кроме того, способны находить укрытия при наступлении неблагоприятных условий.

По общему групповому составу беспозвоночных напочвенного яруса облесенные техногенные территории тоже отличаются от естественного леса. На отвалах нет требовательных к увлажнению напочвенных сапрофагов (кивсаков и мокриц) и в то же время обычным характерным обитателем остепненных участков — сверчок *Gryllulus frontalis*, для леса совершенно нетипичный.

В целом в напочвенном ярусе отвалов полнее других восстанавливается группа хищных жуков. Развитие же



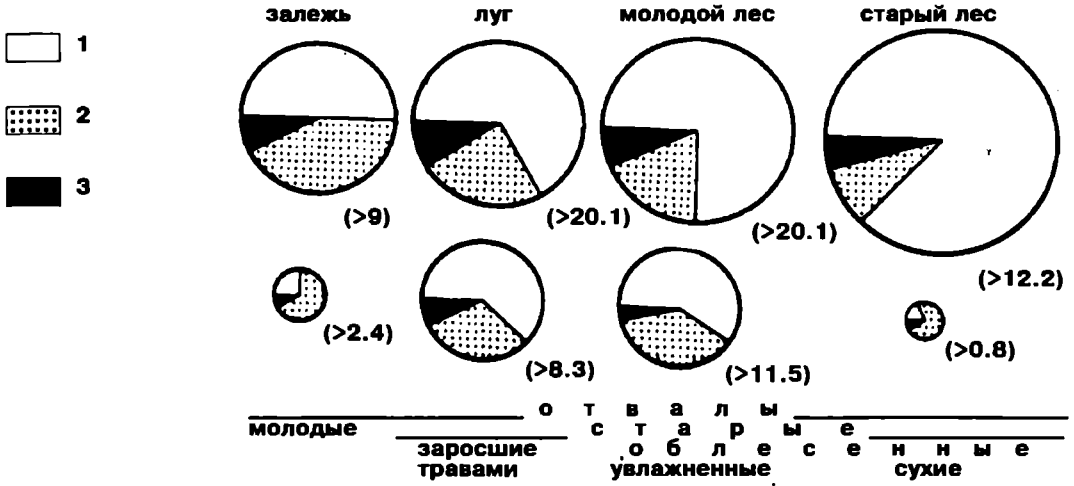
*Ушастая сова в куртинах сосны находит место для гнездования.*

*Фото В.А. Огвева*

комплекса сапрофагов (потребителей растительных остатков), столь необходимого для нормального течения почвообразовательных процессов, тормозит недостаточным увлажнением техногенных территорий.

С развитием древесного полога травяной покров постепенно исчезает, и в результате заметно уменьшаются численность беспозвоночных и количество видов, характерных для открытых местобитаний. Появляются виды, обычные в затененных опушечных биотопах: клоп *Dolichonabius limbatus*, цикадка *Idiocerus populi*, паук *Helophora insignis*, долгоносики родов *Polydrosus*, *Dorytomus*, *Curculio*.

Однако общая численность в группе лесных видов все же невелика, и фауна беспозвоночных на старых облесенных отвалах сохраняет сходство с фауной открытых биотопов. Более того,



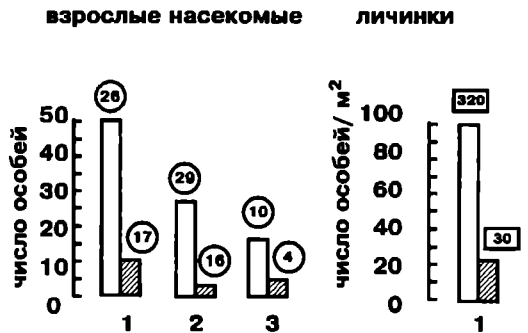
в некоторых группах по численности заметно выделяются виды, не требовательные к увлажнению (ксерофилы), такие, например, как клоп *Stenodema laevigatus* и паук *Dictyna arundinacta*.

С появлением на отвалах древесной растительности темпы сукцессионных смен замедляются, причем у фитофагов это происходит заметнее, чем у хищных беспозвоночных. На сухих, песчаных разровненных отвалах с монокультурой сосны с течением времени население травостоя деградирует.

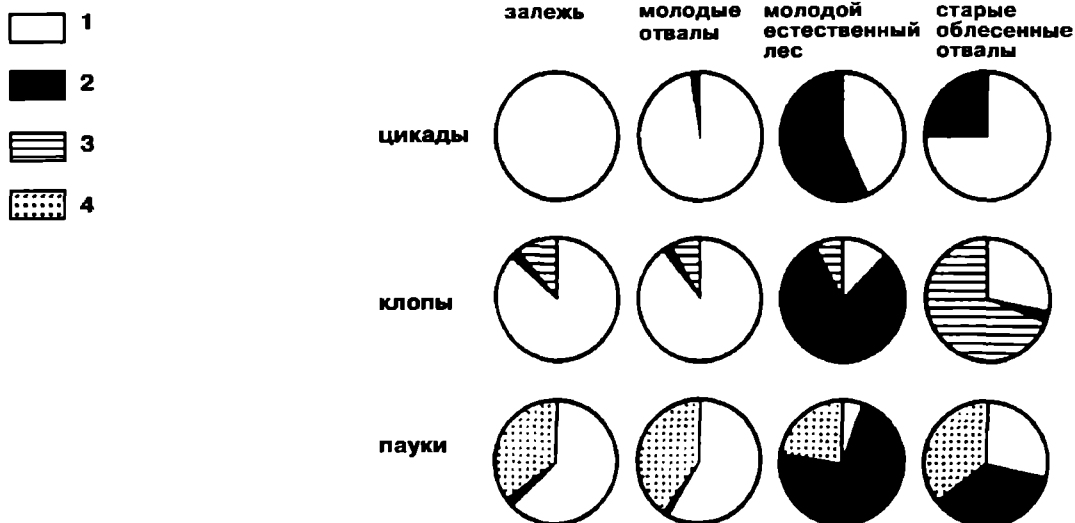
При зарастании техногенных земель лесом к 20—25 годам уменьшается разнообразие и количество земноводных, характерных для открытых биотопов, но увеличивается доля лесных обитателей: остромордой лягушки, обыкновенного и гребенчатого тритонов. Разнообразнее становится видовой состав мелких млекопитающих. Появляются таюже и лесные виды: рыжая полевка, лесная мышь, обыкновенная бурозубка. Сказанное относится и к отвалам среднего, 10—15-летнего, возраста.

Не избегают техногенных участков и птицы. Очередность смен их комплексов зависит от ландшафтного облика территорий и довольно предсказуема. На рукотворных холмах, покрытых травами и кустарниками, обычны обитатели залежей и опушек. Это многочисленные воробьиные: жаворонки, овсянки, трясогузки, чеканы, коноплянки, чечиви-

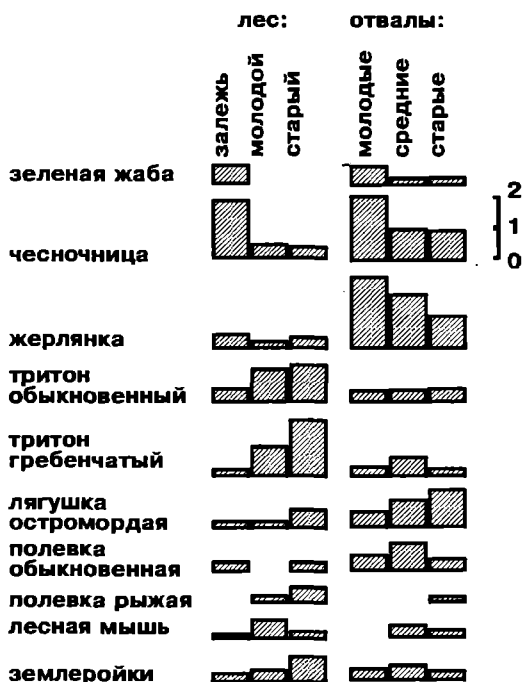
Соотношение разных групп почвенной фауны на естественных территориях и техногенных холмах. 1 — дождевые черви; 2 — личинки насекомых; 3 — многоклеточные. В скобках приведена общая биомасса ( $г/м^2$ ).



Изменение численности насекомых (долгоносики — 1; клопов — 2; цикадок — 3) на разровненных отвалах с посадками сосны — молодых (светлые столбцы) и старых (заштрихованные столбцы). Численность взрослых насекомых определена по количеству особей, попавшихся в сачок за 50 взмахов; в кружках приведено число видов, в квадратах — биомасса.



Сходство фауны членистоногих на техногенных холмах и природных участках. 1 — обитатели открытых биотопов, 2 — затененных, 3 — животные, не требовательные к увлажнению (ксерофилы), 4 — прочие.



Относительная численность мелких позвоночных животных. Приведенный масштаб соответствует числу особей, попавших в 10 ловушек за сутки. Первые три вида земноводных — обитатели открытых биотопов, остальные — лесных.

цы. Но по мере зарастания отвалов лесом меняется и птичье население. Особенно заметны изменения на разровненных участках с посадками сосны. В несомкнутых культурных сосняках с травами обычно гнездятся обитатели открытых биотопов, заросших травянисто-кустарниковой растительностью: садовая овсянка, серая славка, полевой жаворонок и серая куропатка (она встречается в течение года на отвалах разного возраста, но гнезда строит преимущественно на молодых участках).

Когда сосны вырастают до трех и более метров, жаворонок исчезает, меньше становится овсянок, но чаще гнездится серая славка, появляется также сорока. В посадках мало веточного материала для сооружения гнезд, и в качестве строительного материала эта птица использует стебли донника и алюминевую проволоку.

В 15-летних куртинах сосны выводят птенцов ушастая сова, сорока, пеночка-весничка, зяблик, вяхирь, серая славка, а на открытых местах — каменка.

Посадки сосны, сомкнутые в рядах и междурядьях и окруженные шельфом открытых участков, заросших травами, фактически представляют собой тип опушечного местообитания, поэтому и заселяют такие места соответствующие



-  Пашня
-  Луг
-  Водоемы
-  Отвалы



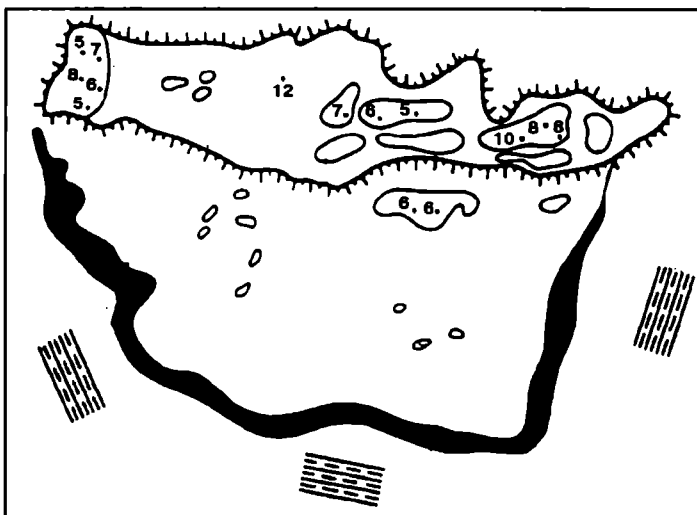
Птицы, встречающиеся на разровненных отвалах с посадками сосны. 1 — полевой жаворонок, 2 — серая славка, 3 — садовая овсянка, 4 — серая куропатка, 5 — пеночка веснячка, 6 — сорока, 7 — зяблик, 8 — ушастая сова, 9 — иволга. Через год произошли перемещения птиц по участкам и добавились два вида: *вахирь* и *перепел*.

виды птиц. По контуру посадок обычны садовая славка и овсянка.

На отвалах птицы предпочитают гнездиться по краевой зоне или по контуру полян внутри сосновых культур. Нарушенные территории привлекают птиц в первую очередь как место для гнездования. Пищу они добывают на естественных угодьях, окружающих отвалы. Поэтому птицы вполне успешно заселяют даже крайне обедненные местообитания на токсичных отвалах, где фактически нет травянистой растительности.

Таким образом, на разровненных техногенных землях с посадками сосны примерно за 15 лет на смену обитателям открытых биотопов приходят опущенные виды птиц.

Итак, техногенные территории быстро заселяются пионерными группировками животных. Уже к 10 годам в основных ярусах биоценоза формируются фаунистические комплексы, сходные с населением естественной залежи. Однако если в природных местообитаниях, скажем, при зарастании лесом брошенной пашни растения и животные



Птицы, гнездящиеся на токсичных отвалах с посадками сосны. 10 — *вахирь*, 12 — *обыкновенная каменка*, остальные обозначения те же, что на предыдущем рисунке.

участвуют в сукцессионном возрождении природы на равных и лесная растительность приходит в полное соответствие с лесным населением животных, то на отвалах, как мы видели, картина не столь однозначна.

Процессы восстановления жизни на отвалах открытой разработки железной руды и бурого угля имеют и сходство и различия с сукцессионными изменениями на старой залежи и в лесных местообитаниях.

Естественные и нарушенные участки открытого типа развиваются сходным образом, или, как говорят специалисты, в пределах одного сукцессионного ряда. Но смена сообществ на облесенных отвалах и в естественных лесных угодьях не совпадают. Если население старых отвалов с лесом становится все более ксерофильным, то в естественном лесу с течением времени преобладают любители влажных мест.

По мере формирования на отвалах леса исчезают или резко снижают численность многие виды, обычные для открытых пространств. Однако сохраняется ряд обитателей залежи из числа экологически пластичных видов, а лесные животные заселяют отвалы медленно. Иными словами, с течением времени отвалы из фитоценозов открытого типа превращаются в лесные, чего нельзя сказать о животном населении. Темпы его формирования явно отстают от смен в растительном покрове.

Заметно быстрее происходит смена одних групп на другие среди животных высших трофических уровней, т.е. хищников. Так, на 30-летних облесенных отвалах группировки божьих коровок и пауков имеют значительное сходство с населением естественного леса. В то же время комплексы фитофагов — долгоносиков и клопов — преобразуются медленно и даже на 30-летних заросших лесом отвалах больше напоминают население залежи, чем леса. Более того, в экологически монотонных местообитаниях — на разровненных песчаных отва-

лах с посадками сосны — некоторые группы почвенных беспозвоночных просто деградируют. Правда, других животных, обитающих на почве и в растительном покрове (земноводных, мелких млекопитающих и особенно птиц), деградация касается в меньшей степени. Для многих из них отвалы — лишь часть среды обитания, их индивидуальные участки распространяются за пределы нарушенных территорий.

Изорванная, измученная бездушной техникой земля возвращается к жизни медленно и не всегда прямой дорогой. Длина пути к извечной гармонии зависит от многих факторов, но прежде всего — от влаги. Оставят люди после себя огромные холмы-отвалы, да еще в лесостепной зоне, где вода и так дефицит, хорошего ждать не приходится. Возрожденная было жизнь чахнет и угасает с течением времени, и только белоствольные березы да седолистые ивы печально шепчут над огромными курганами. Хотя в природе все бывает наоборот: чем больше время восстановления, скажем, заброшенной пашни или вырубки, тем больше жизни и сложнее взаимосвязи.

Однако если отнестись к техногенным землям с умом и душой (холмы отсыпать пониже, метров в пять, а не в 20, о небольших водоемах подумать, деревья высаживать не до самого горизонта непролазной чащей, а с полянами да опушками), тогда и трава в березняках и осинниках зазеленеет, дождевые черви, пауки да жуки будут благоденствовать. Глядишь, лет через 20 не так уж все и плохо.

Бежит время, а с ним на многострадальной земле все своим чередом вершится, не кособочась, а как положено природой — все в свое время и к своему месту.

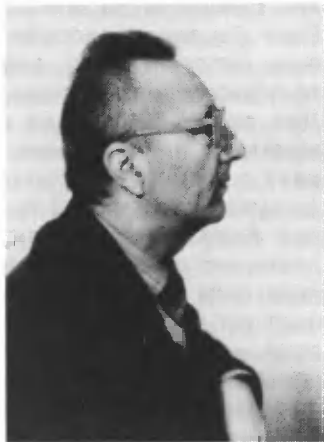
И зеленеют рукотворные холмы, радуют глаз.

Работа выполнена при поддержке РФФИ. Грант 96-04-51080.



# Токи в ВТСП-керамиках: преодоление границ

Е.З.Мейлихов



*Евгений Залманович Мейлихов, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института молекулярной физики Российского научного центра «Курчатовский институт». Область научных интересов — физика твердого тела.*

**И**СПОЛЬЗОВАНИЕ огня как источника энергии ознаменовало начало человеческой цивилизации. С тех пор все ее развитие связано с открытием и освоением новых источников и видов энергии. Из всех форм энергии, используемых сегодня человечеством, самая распространенная и эффективная — безусловно, электрическая. Одно из важнейших преимуществ электричества — возможность передачи энергии на большие (зачастую измеряемые многими тысячами километров) расстояния от точки ее производства к месту потребления. При этом инженеры, естественно, стремятся проектировать и строить такие линии передач, в которых потери энергии были бы минимальны.

## КАК СНИЗИТЬ ПОТЕРИ

Главный источник потерь при передаче электроэнергии по металлическим проводам (как это делается сегодня) — конечное сопротивление проводов, из-за которого часть энергии рассеивается в виде тепла. Для снижения потерь используют высокие напряжения (и, значит, — низкие токи), для чего сооружают высоковольтные линии передачи.

Отношение мощности потерь в линии к передаваемой по ней полезной мощности  $P$  (которая потребляется на конце линии) равно  $Pr/U^2$ , где  $r$  — сопротивление проводов,  $U$  — напряжение на нагрузке. При фиксированных значениях мощности  $P$  и сопротивления  $r$  доля теряемой в проводах энергии тем меньше, чем выше напряжение  $U$ . Так, при повышении напряжения от 200 до 200 000 В потери энергии уменьшаются в миллион раз. Тем не менее при большой передаваемой мощности они и в этом случае остаются весьма значи-

тельными: двухпроводная высоковольтная линия длиной 100 км из медного провода диаметром 5 см обладает сопротивлением  $\sim 5$  Ом, что при мощности 1000 МВт приводит к потерям порядка 5%.

Однако за эту выгоду приходится платить усложнением и удорожанием необходимого технического оборудования — преобразователей напряжения, мощных коммутаторов, самих высоковольтных линий и т.д. Кроме того, возможности повышения напряжения в линиях ограничены из-за потерь другого рода — утечки энергии за счет электрических разрядов, возникающих при достаточно высоких напряжениях. Все это приводит к тому, что реальные потери энергии составляют не менее 10%, а это для экономики промышленно развитых стран — колоссальные убытки.

В связи с этим естественно обратиться к другой возможности снижения потерь энергии в линиях передачи, а именно к уменьшению сопротивления проводов. Как известно, сопротивление провода заданной длины определяется его диаметром и удельным сопротивлением материала, из которого он изготовлен. К сожалению, простое увеличение диаметра провода экономически невыгодно: оно резко повышает расход металла. Кроме того, значительно возрастает вес проводов, а это усложняет (и, естественно, удорожает) поддерживающие эти провода системы.

Еще одна возможность — снижение удельного сопротивления металла. Обычно применяемые в электротехнике металлы медь и алюминий имеют при комнатной температуре удельное сопротивление  $\approx 1.7 \cdot 10^{-8}$  Ом·см и  $2.8 \cdot 10^{-8}$  Ом·см соответственно. Мень-

шим (да и то ненамного) сопротивлением обладает лишь дорогостоящее серебро —  $1.6 \cdot 10^{-8}$  Ом·см. Таким образом, медь и алюминий — практически оптимальный выбор.

Наконец, остается последнее: уменьшить сопротивление металлических проводов за счет их охлаждения. Если бы таким способом удалось снизить сопротивление, скажем, в 10 раз, то потери энергии упали бы с 10 до 1%. Для этого, поскольку сопротивление металлов приблизительно линейно падает с понижением температуры, провода нужно охладить до температуры, в 10 раз более низкой, чем комнатная, — примерно до 30 К. Достичь столь глубокого охлаждения можно лишь с помощью так называемых криогенных жидкостей — жидкого водорода или жидкого гелия (температура кипения при атмосферном давлении 20 и 4.2 К соответственно). Первый из них образует взрывоопасную смесь с кислородом воздуха, а второй — очень дорог, так как мало распространен на Земле; кроме того, требуются большие затраты энергии на охлаждение. Поэтому оба варианта оказываются экономически нецелесообразными.

До последнего времени по тем же экономическим соображениям не проходила и еще более заманчивая идея: использовать для передачи электроэнергии сверхпроводящие провода. Дело в том, что металлы и металлические сплавы становятся сверхпроводниками (полностью теряют электрическое сопротивление) и могут в таком состоянии пропускать ток большой плотности, вплоть до некоторой (критической) величины  $j_c$  также лишь при очень низких температурах (см. табл.1).

Таблица 1

Температура  $T_c$  перехода в сверхпроводящее состояние и плотность  $j_c$  критического тока некоторых металлов и сплавов

Материал	Al	Pb	Sn	Zn	$V_3Ga$	$Nb_3Sn$	NbTi	NbN
$T_c$ , K	1.18	7.2	3.7	0.85	14.6– 16.8	18.1 – 18.5	9.5 – 10.5	14.5 – 17.8
$j_c$ , A/cm <sup>2</sup> при $T=4.2$ K	—	—	—	—	—	$\approx 10^8$	$\approx 10^5$	$\approx 10^8$

## НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕПЯТСТВИЯ

Ситуация резко изменилась в конце 1986 г., когда А. Мюллер и Дж. Беднорц открыли новый класс сверхпроводящих материалов — так называемые металлосидные сверхпроводники, которые представляют собой окислы (точнее, смесь окислов) металлов. Наличие у них сверхпроводящих свойств на первый взгляд тем более удивительно, что в нормальном состоянии, т.е. при температуре выше  $T_c$ , подобные окислы довольно плохие проводники (их удельное сопротивление в 100—1000 раз выше сопротивления меди).

Впрочем, еще в начале 30-х годов было установлено, что сверхпроводниками при низких температурах становятся как раз те металлы, в которых подвижность свободных электронов сравнительно невелика. Металлы же с высокой проводимостью, например медь или серебро, не становятся сверхпроводниками ни при какой температуре. Позднее данная закономерность нашла свое объяснение в теории, согласно которой и снижение подвижности электронов в нормальном состоянии, и появление сверхпроводимости связаны с одним и тем же явлением — взаимодействием электронов с квантами колебаний кристаллической решетки — фононами. Правда, это не означает, что и в металлосоидных сверхпроводимости

обусловлена именно электрон-фононным взаимодействием. Общепринятой теории высокотемпературной сверхпроводимости пока еще нет.

Новые материалы получили название высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), поскольку температуры их перехода в сверхпроводящее состояние на порядок выше, чем для «старых» материалов (см. табл.2).

Революционный характер открытия высокотемпературной сверхпроводимости в том, что оно показало путь к созданию сверхпроводящих проводов, работающих при таких температурах, которые можно получить с помощью жидкого азота — безопасной и дешевой криогенной жидкости (температура кипения при атмосферном давлении 77 К).

Однако до практического использования ВТСП-материалов еще далеко: нужно научиться производить из них длинные провода, имеющие достаточно большой критический ток. (Напомним, что критический ток — максимальный ток, протекание которого не вызывает рассеяния энергии в сверхпроводнике.) Чтобы понять, насколько сложна эта проблема, следует хотя бы кратко описать технологию получения ВТСП-материалов и проводов на их основе.

Высокотемпературные сверхпроводники изготавливаются по так называемой керамической технологии, с помощью которой люди еще в древние времена создавали изделия из глины. Последняя представляет собой мелкодисперсную смесь различных минералов. Древний гончар лепил (по-научному — прессовал) из этой смеси посуду, а затем обжигал ее на воздухе при высокой (~1000°C) температуре. Таким образом и получалась керамика. Практически та же технология используется и при изготовлении ВТСП-керамик: составляется смесь из исходных металлических окислов (например, окислов BaO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и CuO для ВТСП-керамики YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>), затем тщательно перетирается и перемешивается, после чего из полученной «пудры» прессуется образец, который и подвергается обжигу на воздухе (или в кислороде) при температуре 1000°C. В

Таблица 2  
Температура  $T_c$  перехода в сверхпроводящее состояние некоторых высокотемпературных металлосидных сверхпроводников

Материал	$T_c$ , К
La <sub>1,85</sub> Sr <sub>0,15</sub> CuO <sub>4</sub>	37
YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	92
Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	100
Tl <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>10</sub>	125
HgSr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	135

результате получается керамический образец — поликристалл, который состоит из отдельных монокристаллических сверхпроводящих гранул — кристаллитов (с характерным размером 1—10 мкм), ориентированных случайным образом друг относительно друга. «Слабое место» всех спеченных образцов — контакты между гранулами; именно они определяют величину критического тока такого материала. В первых образцах критическая плотность составляла всего 100—1000 А/см<sup>2</sup> (в тысячу раз меньше, чем в «старых» сверхпроводниках!).

При производстве длинных проводов технология несколько модифицируется. Наиболее распространенный сегодня способ изготовления проводов на основе висмутовой керамики BiPbSrCaCuO, названный «порошок в трубе», состоит в следующем. Исходная композиция соответствующих окислов (или нитратов) несколько раз обжигается (с размолом после каждого отжига) и в виде порошка набивается в трубку из серебра (с толщиной стенок ~1 мм и диаметром ~5 мм). Трубка протягивается в провод диаметром 1 мм, а затем прокатывается в ленту прямоугольного сечения 3×0.1 мм<sup>2</sup>. Наконец, эту «сырую» ленту отжигают и прессуют в горячем состоянии. Описанная механическая обработка приводит к тому, что ориентация и форма монокристаллических сверхпроводящих гранул, из которых состоит материал, уже не случайны — большая их часть (~90%) представляет собой тонкие пластинки размером ~10×10 мкм<sup>2</sup>, расположенные почти параллельно плос-

кости ленты. Такой материал называют текстурированным.

## ПОЧЕМУ СТОЛЬ ВАЖНЫ ГРАНИЦЫ

Чтобы получать керамические сверхпроводники с большим критическим током, необходимо понять причину его снижения на межкристаллитных границах и найти способ свести на нет их негативное влияние (или хотя бы существенно ослабить). Эксперименты показывают: в «хорошей» (со сравнительно высоким критическим током) керамике межгранульные границы также являются «хорошими». Это означает, что они прямолинейны, почти не содержат примесей и дефектов и, таким образом, весьма близки к «идеальной» границе между двумя, повернутыми друг относительно друга, совершенными кристаллами. Соответствующий угол поворота  $\theta$  называют углом разориентации.

Существует два основных типа границ: граница кручения и граница наклона. В первом случае один кристаллит повернут относительно другого на угол  $\theta$  вокруг нормали к плоскости границы, во втором — вокруг оси, лежащей в плоскости границы (рис.1). В общем случае имеет место комбинация таких поворотов.

ВТСП-керамика всегда содержит множество различных (по типам, размерам и углам разориентации) межгранульных границ, что сильно затрудняет изучение свойств отдельных границ. Поэтому исследователи научились со-

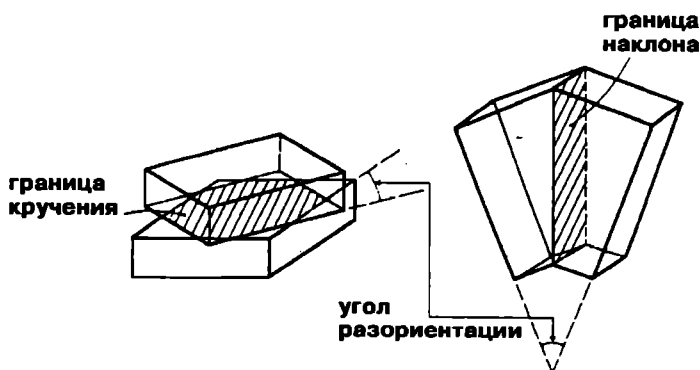


Рис. 1. Схематическое представление границ кручения и наклона между кристаллитами. Плоскости границ заштрихованы.

здавать искусственные одиночные границы между ВТСП-кристаллитами, нанося пленку из ВТСП-материала на «бикристаллическую» диэлектрическую подложку. Последняя представляет собой искусственно выращенную пластину из двух сросшихся между собой диэлектрических кристаллов, угол разориентации которых выбирается заранее. Кристаллографическая ориентация растущей пленки подстраивается под ориентацию подложки, так что получающаяся ВТСП-пленка имеет межгранульную границу (обычно — границу наклона) с заданным углом разориентации  $\theta$ . С помощью набора подобных бикристаллических ВТСП-пленок с различными значениями угла  $\theta$  удалось показать, что основной фактор, определяющий критический ток межгранульной границы, — именно угол разориентации. На рис.2 приведены соответствующие результаты для  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ -пленок: экспериментальные данные Дж.Манхарта<sup>1</sup> и расчет автора. Несмотря на довольно существенный разброс данных, основная тенденция прослеживается вполне четко: критический ток  $i_c$  межгранульного перехода быстро (для углов  $\theta \leq 25^\circ$  — приблизительно экспоненциально) падает с ростом  $\theta$ .

Какова же причина такого быстрого спада межгранульного критического тока? Это связано, конечно, с ухудшением сверхпроводящих свойств материала в приграничных областях контактирующих кристаллитов — вблизи границы он представляет собой либо сверхпроводник с меньшей, чем в объеме, критической температурой, либо вообще теряет сверхпроводящие свойства, превращаясь в нормальный металл (или даже диэлектрик). Получающаяся система — два сверхпроводящих кристалла, разделенные тонкой несверхпроводящей прослойкой, — известна как джозефсоновский переход. Установлено, что через такой переход благодаря туннельному эффекту может протекать вполне измеримый сверхпроводящий ток, критическая величина которого быстро (эк-

споненциально) падает с ростом толщины несверхпроводящей прослойки.

До открытия Б.Джозефсона было распространено мнение, что протекание сверхпроводящего тока через барьер из несверхпроводящего материала (туннельное «просачивание» электронных пар, являющихся в этом случае носителями заряда) практически невозможно. В пользу такого утверждения приводились следующие аргументы.

Энергетический барьер — это область пространства, в которой потенциальная энергия частицы больше ее полной энергии, поэтому туда она (согласно классическим воззрениям) попасть не может. Однако волновая природа частиц позволяет им (хотя и не очень глубоко) проникать в запрещенную область.

Волновые свойства частицы с массой  $m$  характеризуются дебройлевской длиной волны  $\lambda_B = h/mv$ , где  $h$  — постоянная Планка,  $v$  — скорость частицы. В нормальном металле масса электрона проводимости практически такая же, как у свободного электрона  $m_0 \approx 10^{-27}$  г, а средняя тепловая скорость составляет  $v \sim 10^8$  см/с, поэтому  $\lambda_B \sim 10^{-7}$  см. Таким образом, через барьер толщиной  $d \sim 10^{-6}$  см электрон пройдет с вероятностью  $\exp(-d/\lambda_B) \sim e^{-10} \sim 10^{-4}$ . Эта вероятность мала, но поскольку число электронов проводимости в металле ве-

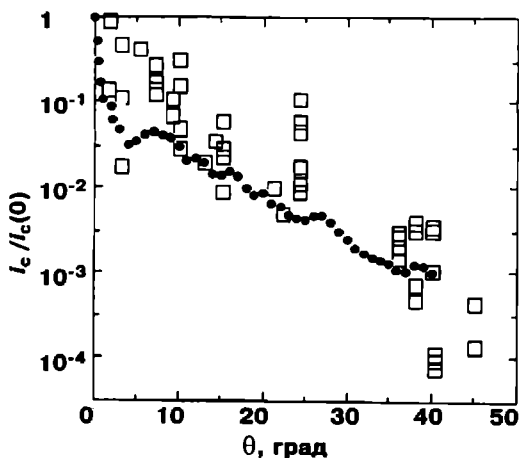


Рис.2. Зависимость критического тока бикристаллических  $\text{YBaCuO}$ -пленок от угла разориентации кристаллитов.  $\square$  — эксперимент,  $\bullet$  — расчет по модели случайно расположенных дислокаций.

<sup>1</sup> Mannhart J. // J. Superconductivity. 1990. V.3. P.281.

лико, туннельный ток из одного нормального металла в другой становится вполне измеримым. Это — так называемое одночастичное туннелирование, в названии которого отражено то обстоятельство, что электроны туннелируют сквозь барьер поодиночке.

Если же электроны будут туннелировать парами, масса туннелирующей «частицы» станет вдвое больше:  $m \approx 2m_0$ , что радикально меняет ситуацию с просачиванием. Уменьшение вдвое дебройлевской длины волны приведет к подавлению вероятности туннелирования ( $\exp(-d/\lambda_B) \sim 10^{-8}$ ) в 10 тыс. раз и сделает наблюдение процесса туннелирования электронных пар невозможным.

Ошибочность приведенного рассуждения — в предположении, что волновые свойства пары сверхпроводящих электронов характеризуются дебройлевской длиной волны с заменой массы на удвоенную. Однако в построенной незадолго до открытия эффекта Джозефсона теории сверхпроводимости (теория Бардина, Купера, Шриффера) было показано, что все электроны сверхпроводника находятся в одном когерентном состоянии (при  $T=0$ ) и аналогом дебройлевской длины волны электронной пары служит иная величина — длина когерентности  $\xi$ , характеризующая среднее расстояние между электронами в такой паре. Для низкотемпературных сверхпроводников  $\xi \sim 10^{-6} - 10^{-5}$  см, и потому вероятность туннелирования пар на самом деле достаточно велика. В высокотемпературных сверхпроводниках длина когерентности меньше ( $\xi \sim 10^{-7} - 10^{-6}$  см), но все же легко позволяет наблюдать джозефсоновский туннельный ток электронных пар через барьеры толщиной  $a \sim (1 - 10)\xi$ .

## НЕТ ГРАНИЦ БЕЗ НАПРЯЖЕНИЙ

С чем же связано подавление сверхпроводимости материала вблизи межгранулярной границы? Для ответа на этот вопрос надо знать, как происходит «внезапный» поворот атомных кристаллических плоскостей (например, на границе наклона) при переходе от одно-

го кристаллита к другому. Известно, что это достигается путем добавления параллельных границе и оканчивающихся на ней кристаллических полуплоскостей (см. рис.3). Кромки этих дополнительных полуплоскостей — не что иное, как краевые дислокации. Кристалл вблизи такой дислокации находится в напряженном состоянии: там, где имеется лишняя полуплоскость, он сжат, а там, где ее нет, — растянут. Поле напряжений, возникающее вокруг одиночной краевой дислокации, также показано на рис.3.

Краевая дислокация создает вокруг себя сложное поле механических напряжений: кроме напряжений сжатия и растяжения в направлениях, перпендикулярных дислокации, возникают также касательные напряжения. Наиболее интенсивны те, что направлены вдоль нормали к «лишней» плоскости. Все напряжения максимальны вблизи дислокации, а вдали от нее спадают обратно пропорционально расстоянию.

Таким образом, на границе между гранулами возникает «стенка» краевых дислокаций, создающих некое суммарное поле напряжений. Поэтому граница представляет собой не двумерную плоскость, а объемный слой конечной толщины, в котором материал контактирующих гранул находится в сильно напряженном состоянии. Естественно предположить, что сильные механические напряжения, сопровождающиеся существенной деформацией кристаллической решетки, могут приводить к подавлению сверхпроводимости. Тогда на границе образуется джозефсоновский переход, свойства которого зависят от суммарного напряжения краевых дислокаций. Толщину несверхпроводящего слоя в таком переходе можно оценить, полагая для простоты, что сверхпроводимость полностью подавляется, когда напряжение  $\sigma$  достигает некоторой критической величины  $\sigma_c$ , а те области, в которых  $\sigma < \sigma_c$ , остаются сверхпроводящими. Есть основания считать, что  $\sigma_c \sim 0.01E$ , где  $E$  — модуль Юнга<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Chisholm M.F., Pennycook S.J. // Nature. 1991. V.351. P.47.



Существует эмпирическое правило «трех единиц»: на расстоянии 1 мкм от дислокации напряжение составляет приблизительно 1 кбар и приводит к смещению температуры фазового перехода (любой природы) примерно на 1 градус. Для  $E \sim 10^3$  кбар напряжение становится меньше критического  $\sigma_c = 0.01E \sim 10$  кбар только на расстояниях более 0.1 мкм от дислокации, что совсем не мало, поскольку в ВТСП  $\xi_{\text{max}} \sim 0.01$  мкм. К счастью, толщина несверхпроводящей прослойки, создаваемой вблизи границы наклона, существенно меньше из-за взаимной компенсации напряжений разного знака (см. ниже).

Плотность краевых дислокаций на границе наклона тем выше, чем больше угол разориентации: расстояние между соседними дислокациями  $D \approx a/\theta$ , где  $a$  — постоянная решетки. Поэтому с ростом угла среднее (вдоль границы) суммарное напряжение дислокаций сначала растет (это следует хотя бы из того, что  $\sigma = 0$  при  $\theta = 0$ ), а затем падает, так как напряжения сжатия и растяжения, создаваемые отдельными дислокациями, все более компенсируют друг друга. В последнем случае толщина несверхпроводящей прослойки на границе умень-

шается, а значит, критический ток межгранулярного джозефсоновского перехода возрастает. Этот качественный вывод полностью подтверждается точным расчетом. Однако такой результат находится в явном противоречии с экспериментом (см. рис.2), который демонстрирует лишь быстрое уменьшение критического тока с ростом угла  $\theta$ .

Означает ли это, что описанная дислокационная модель межгранулярных границ ВТСП-керамик неверна? Или только то, что в модели не учтено что-то существенное? Оказывается, дислокационную модель можно (и нужно!) «исправить». Для этого надо обратить внимание на следующее обстоятельство. Эффективная компенсация напряжений в системе краевых дислокаций на границе достигается лишь тогда, когда система регулярна, т.е. дислокации располагаются на равных расстояниях друг от друга. На самом же деле такой регулярности нет. Самая простая причина этого — несоизмеримость периода  $D$  системы дислокаций и постоянной решетки  $a$ . Ясно, что она порождает случайные смещения дислокаций относительно их «идеальных» регулярных положений на величину порядка  $a$ .

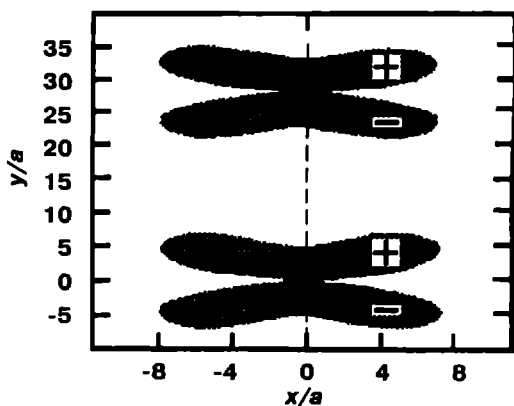
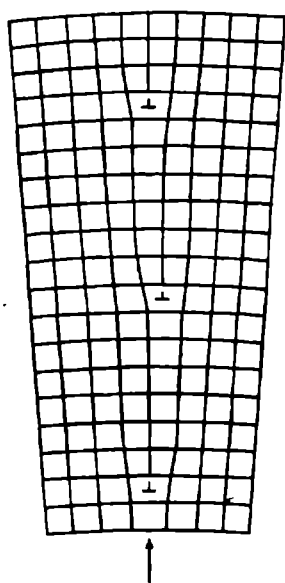


Рис.3. Краевые дислокации ( $\perp$ ) на границе наклона (слева); стрелка (вдоль оси  $y$ ) указывает положение плоскости границы. Поле напряжений вокруг краевых дислокаций на границе наклона с  $\theta = 2^\circ$  (справа); заштрихованы области, в которых  $\sigma > \sigma_c$  (+ — сжатие, — — растяжение). Расстояния нормированы на постоянную решетки  $a$ .

Еще одна из возможных причин хаотизации в расположении дислокаций на границе — тепловые флуктуации. Дислокации при конечной температуре перестают быть прямолинейными и колеблются подобно упругим струнам. Согласно оценке, в области азотных температур амплитуда таких колебаний также  $\sim a$ .

Итак, при расчете создаваемого дислокациями суммарного напряжения надо внести в их расположение элемент случайности. Результаты такого расчета показывают<sup>3</sup>, что компенсация напряжений отдельных дислокаций становится гораздо менее эффективной и толщина несверхпроводящей прослойки монотонно увеличивается с ростом угла разориентации (в согласии с экспериментом).

Если известно суммарное напряжение дислокаций в каждой точке приграничной области, то расчет межгранулярного критического тока можно выполнить следующим образом. Проведя нормаль к границе в произвольной ее точке, отметим на ней отрезок по обе стороны границы, внутри которого  $\sigma > \sigma_c$ . Длина этого отрезка и будет определять локальную (относящуюся к выбранной точке) толщину несверхпроводящей межгранулярной прослойки, а значит, и локальный критический ток джозефсоновского перехода. В рассматриваемом случае он случайным образом меняется от точки к точке. Суммируя эти локальные токи, можно найти и полный критический ток  $i_c$  межгранулярного джозефсоновского перехода. Результат такого расчета показан на рис.2 и демонстрирует вполне разумное согласие с экспериментом.

#### УСРЕДНЯЕМ ПО ОРИЕНТАЦИЯМ ГРАНИЦ

Итак, мы научились описывать свойства отдельных межгранулярных границ. Нас же интересуют усредненные свойства сверхпроводящей керамики, содержащей множество границ с раз-

личными углами разориентации  $\theta$ . Поэтому необходимо оценить, как часто встречаются в реальных керамиках границы с определенным значением  $\theta$ , так как это позволит понять, насколько часто мы имеем дело с данным значением критического тока  $i_c$ . Наконец, зная распределение межгранулярных критических токов  $i_c$ , можно будет найти среднюю плотность критического тока керамики.

Обратимся сначала к первой из упомянутых проблем. Известны ее практическое и теоретическое решения. Во-первых, можно с помощью электронного микроскопа изучить большое число межгранулярных границ в реальной ВТСП-керамике и найти их распределение по углам разориентации. Достаточно часто оно оказывается экспоненциальным<sup>4</sup> (см. рис.4). Во-вторых, можно с помощью компьютера «поиграть в кубики». В текстурированной керамике определенные кристаллографические оси всех гранул практически совпадают по направлению, так что разориентация соседних гранул соответствует их вращению в плоскости. Компьютер решает двумерную задачу: «склеивает» две плоские гранулы под произвольным, но не превышающим определенного значения, углом, затем «приклеивает» к ним также под произвольным углом третью гранулу и т.д. Единственное требование (которое оказывается достаточно жестким): гранулы должны заполнять плоскость без «дыр». Получив таким образом керамику из большого числа гранул, можно затем найти и распределение получившихся углов  $\theta$ . И этот метод также приводит к экспоненциальному распределению<sup>5</sup>.

Наконец, мы можем перейти к последнему этапу нашего рассмотрения — к вычислению средней плотности критического тока керамики. Для того чтобы описать, как это делается, необходимо сказать несколько слов о теории протек-

<sup>4</sup> Cai Z.X., Welch D.O. // Phys. Rev. 1992. V.B45. P.2385.

<sup>5</sup> Goyal A., Specht E.D., Kroeger D.M., Mason T.A. // Appl. Phys. Lett. 1996. V.68. P.711.

<sup>3</sup> Мейлихов Е.З. // Журн. эксперим. и теорет. физики. 1996. Т.110. С.1453.

кания, или, как часто говорят, — перколяции. Представим себе, что мы измеряем полную проводимость прямоугольного куска металлической сетки (для простоты — с квадратной ячейкой), прикладывая напряжение к его противоположным сторонам. Начнем постепенно удалять (например, разрезать) проволоочки, соединяющие соседние узлы сетки. Ясно, что с уменьшением доли  $p$  целых проволоочек (связей) полная проводимость будет падать и в конце концов обратится в нуль. Это произойдет тогда, когда доля целых связей достигнет некоторого критического значения  $p_c$  и в испорченной сетке не останется ни одного «пути», соединяющего ее противоположные стороны. Теория протекания<sup>6</sup> позволяет найти критическое значение  $p_c$  (так называемый порог протекания) и зависимость полной проводимости сетки  $\Sigma$  от доли целых связей вблизи порога протекания:  $\Sigma \sim (p - p_c)^t$ , где  $t$  — так называемый критический индекс.

Для двумерной системы с квадратной ячейкой  $p_c = 1/2$ ,  $t \approx 1.15$ . Вообще говоря,  $p_c$  зависит от размерности и топологии системы (например, для двумерной треугольной решетки  $p_c \approx 0.35$ , для трехмерной кубической решетки  $p_c \approx 0.25$ ), а  $t$  — универсальный индекс, зависящий только от размерности системы.

Сверхпроводящая керамика очень похожа на перколяционную систему: роль решеточных связей в ней играют межгранульные контакты, которые в зависимости от величины протекающего по керамике тока могут быть в двух различных состояниях. В первом из них такой контакт является сверхпроводящим (для этого необходимо, чтобы ток через него не превышал  $i_c$ ), а во втором обладает достаточно высоким сопротивлением. Такие состояния соответствуют целым и разорванным связям в теории протекания, что и позволяет пользоваться результатами этой теории для определения критического тока керамики<sup>7</sup>.

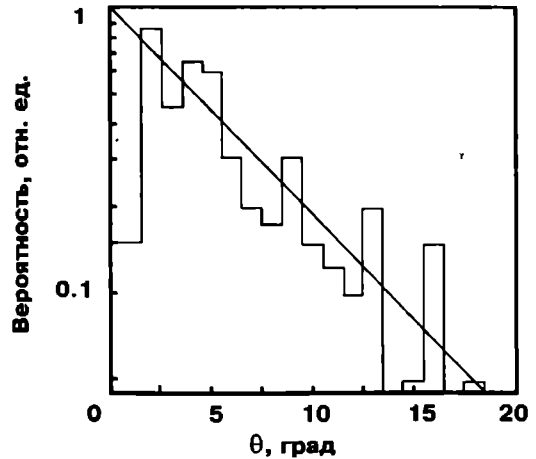


Рис. 4. Распределение межгранульных границ наклона в  $YBa_2Cu_3O_7$ -керамике по углам разориентации (данные электронно-микроскопического исследования).

Для этого нужно вместо доли  $p$  целых связей ввести функцию распределения  $P(i)$ , задающую долю контактов с критическими токами выше некоторой величины  $i$ . Эту функцию легко найти, если знать вероятность  $f(i_c)\delta i_c$  того, что критический ток наугад выбранного контакта отличается от  $i_c$  не более, чем на  $\delta i_c$ . Исходя из того, что распределение межгранульных углов разориентации — экспоненциально (то есть углы, близкие к  $\theta$ , встречаются с вероятностью, пропорциональной  $\exp(-\theta/\langle\theta\rangle)$ , где  $\langle\theta\rangle$  — средний угол разориентации), а зависимость критического тока межгранульного контакта  $i_c$  от  $\theta$  — тоже экспоненциальна (то есть  $i_c \sim \exp(-\theta/\theta_j)$ , где  $\theta_j$  — некоторый параметр, характерный для данного материала), можно найти, что  $f(i_c) \sim i_c^{-n}$ , где  $n = \theta_j/\langle\theta\rangle - 1$ ,  $n > 1$ . Степенной характер функции  $f(i_c)$  приводит к тому, что и вольт-амперная характеристика керамики при токах выше критического также степенная:  $E \sim j^{n+1}$  ( $E, j$  — напряженность электрического поля и плотность электрического тока в керамике).

## ЧТО ДАЛЬШЕ?

Итак, дислокационная теория межгранульных контактов сверхпроводящих

<sup>6</sup> Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М., 1979.  
<sup>7</sup> Мейлихов Е.З. // Успехи физ. наук. 1993. Т. 163. С. 27.

керамик позволяет вычислять среднюю плотность их критического тока. До сих пор мы рассматривали ситуацию без магнитного поля. На практике же чаще всего на систему воздействует магнитное поле (внешнее или создаваемое протекающим по системе током). Описанные методы позволяют решить проблему и в этом случае. Зная, как «откликается» на магнитное поле отдельный межгранульный контакт, можно понять, как будет реагировать керамика в целом, и найти (очень важную для практики) зависимость ее среднего критического тока от поля. Оказывается, что зависимость может иметь ряд особенностей, связанных с конкретным «устройством» межгранульных контактов. Однако рассмотрение этого круга вопросов уже невозможно без использования достаточно сложных формул.

Мы не коснулись также важного вопроса: каков все же механизм подав-

ления высокотемпературной сверхпроводимости в местах, подверженных сильным напряжениям? Окончательного ответа на него еще нет. Одна из гипотез состоит в том, что в таких местах материал обеднен кислородом, а это, как известно, приводит к понижению критической температуры ВТСП.

Итогом все возрастающего понимания физических механизмов, определяющих токонесущую способность ВТСП-керамик, явилось достигнутое к настоящему времени более чем стократное (по сравнению с 1987 г.) увеличение плотности критического тока материалов этого типа. Для ВТСП-провода на основе  $\text{BiPbSrCaCuO}$   $j_c \approx 50\,000 \text{ А/см}^2$  при  $T=77 \text{ К}$ .

Таким образом, изложенные представления помогают сознательно выбирать и совершенствовать технологии производства керамических ВТСП-материалов, приближая тем самым время их широкого внедрения в практику.

## КОРОТКО

Министерство энергетики США намеревается использовать силовую кабель на основе высокотемпературной сверхпроводящей (ВТСП) керамики для замены стандартного медного кабеля на уча-

стке промышленной энергосети длиной 130 м в районе г.Детройта<sup>1</sup>. Многожильный кабель, рассчитанный на напряжение 24 кВ, будет изготовлен компанией «Pirelli Cables and Systems». Стоимость проекта 5.5 млн долл. США.

Начиная с открытия ВТСП в 1987 г. надежды на ее практическое применение

наталкивались на проблемы, связанные с хрупкостью и дороговизной керамики. На помощь индустрии в освоении этого нового перспективного материала министерство планирует затратить в 1999 г. 32.5 млн долл.

Nature. 1998. V.395. № 6692. P.733 (Великобритания).

<sup>1</sup> См. также: Мейлихов Е.З. Токи в ВТСП-керамиках: преодоление границ // Природа. 1999. № 3. С.49—58.

## Люди на земле. Карта населения мира

П.М.Полян

кандидат географических наук  
Москва

**В** 1997 г. в издательстве ЮНЕСКО во Франции вышла Карта населения мира<sup>1</sup>. За два года напряженной работы она была подготовлена профессором географии Университета Париж-1 Д.Нуаном. Спонсором этого предприятия выступил Фонд населения ООН (UNFRA); при поддержке ЮНЕСКО (программа «Образование в области окружающей среды и информация для развития») издание было осуществлено в Картографической лаборатории Национального научного исследовательского центра Франции (CNRS). Существенную помощь автору оказали многие члены Комиссии по географии населения Международного географического союза, во главе которой Д.Нуан стоял на протяжении многих лет. Автору пришлось преодолеть многочисленные трудности, в частности дефектность и несопоставимость статистики населения приблизительно в половине стран мира.

Карта построена в масштабе 1:15 000 000 и подготовлена на основании первичных данных по большинству стран за 1990 г. (предыдущая карта населения мира была создана в 1960 г. шведским географом А.Седерлундом на базе статистики начала 50-х годов).

К 1990 г. в городах проживала все еще меньшая часть мирового населения — 45%, в том числе 29% —

2647 городах-стотысячниках с суммарной численностью в 1.5 млрд чел. Именно города и показаны на карте в виде красных кружков (подъем от стотысячника до десятиллионника потребовал десяти градаций).

С остальным населением мира — иными словами, с жителями сельской местности и городов рангом ниже стотысячника — автор поступил несколько экстравагантно: он их просто-напросто «смешал» друг с другом, после чего из полученной массы точечным способом выделил «созвездия» и «галактики» «агрегированным весом» в 50 тыс. чел. каждая точка. И тут, полагаем, автор поступил не самым лучшим образом: физический смысл этих картографических образований с трудом поддается разумной интерпретации. Все это тем более досадно, что избежать сего казуса было нетрудно, например давая точки в два цвета или как-нибудь иначе.

Что же до локализации точек (всего их 73 800), то она задавалась экспертным путем, как бы с оглядкой на самые свежие из имеющихся национальных атласов или карт населения (в таких странах, как Андорра, Фарерские о-ва или Гренландия, население которых не превышало 50 тыс. чел., эту единственную точку совмещали со столицей).

Кроме кружков и точек на карте еще даны сетка координат, основная гидрографическая сеть и даже избранные изолинии. В частности, последними (а также цветовой заливкой) показаны

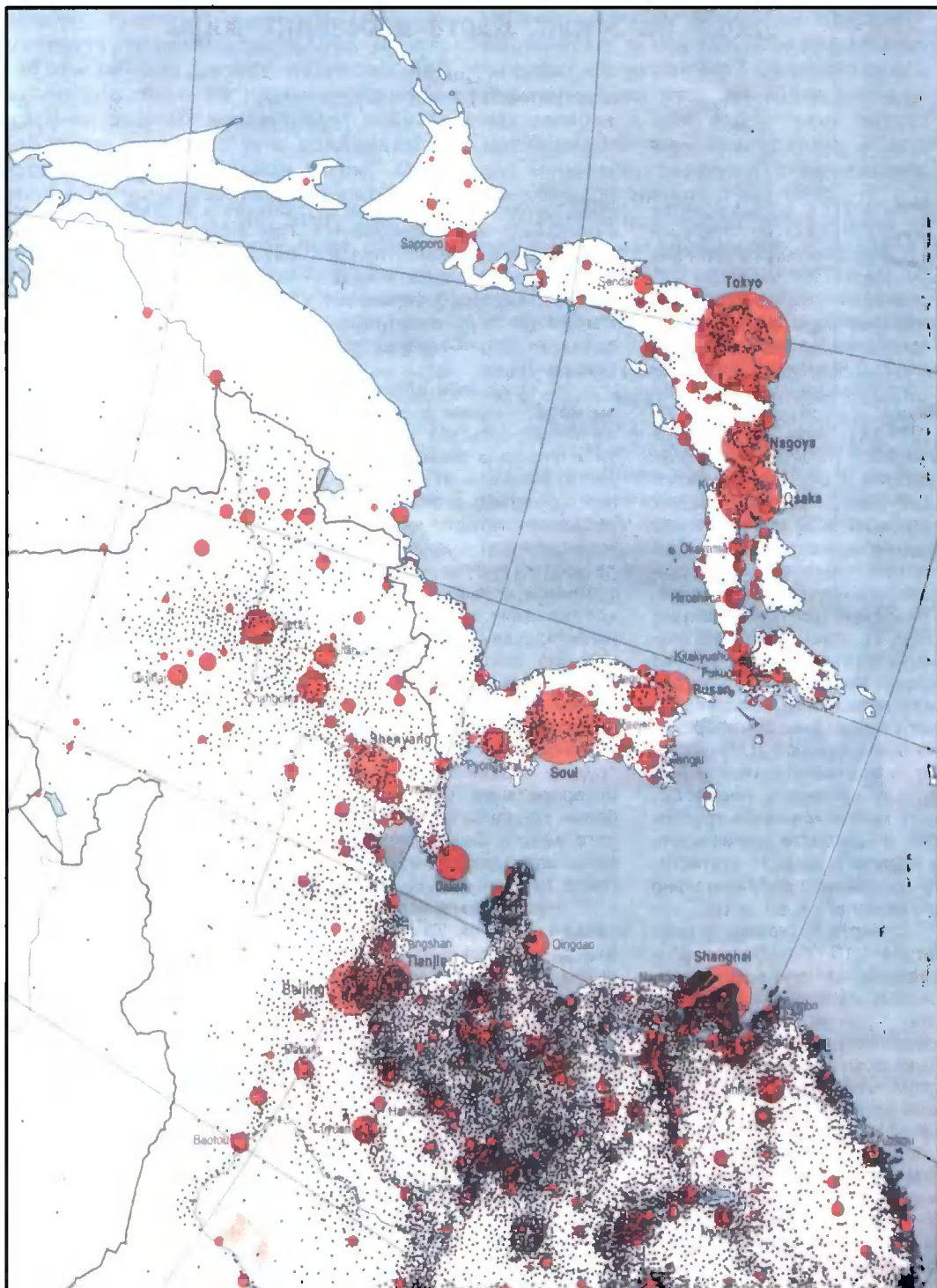
изогипсы в 2000 и 4000 м. При этом, похоже, преследовалась цель — обозначить таким образом самые «неожитые» районы. Но это, во-первых, не вполне верно, а во-вторых, этому, все же не единственному и не всегда определяющему, аспекту населения зрительно присвоено едва ли не доминирующее значение, что несколько искажает картину.

Итоговый баланс новой карты тем не менее определенно положителен: на ней весьма отчетливо проступают как общая картина мирового городского и сельского населения, так и достаточно детальные его проработки для каждого региона или даже отдельных стран.

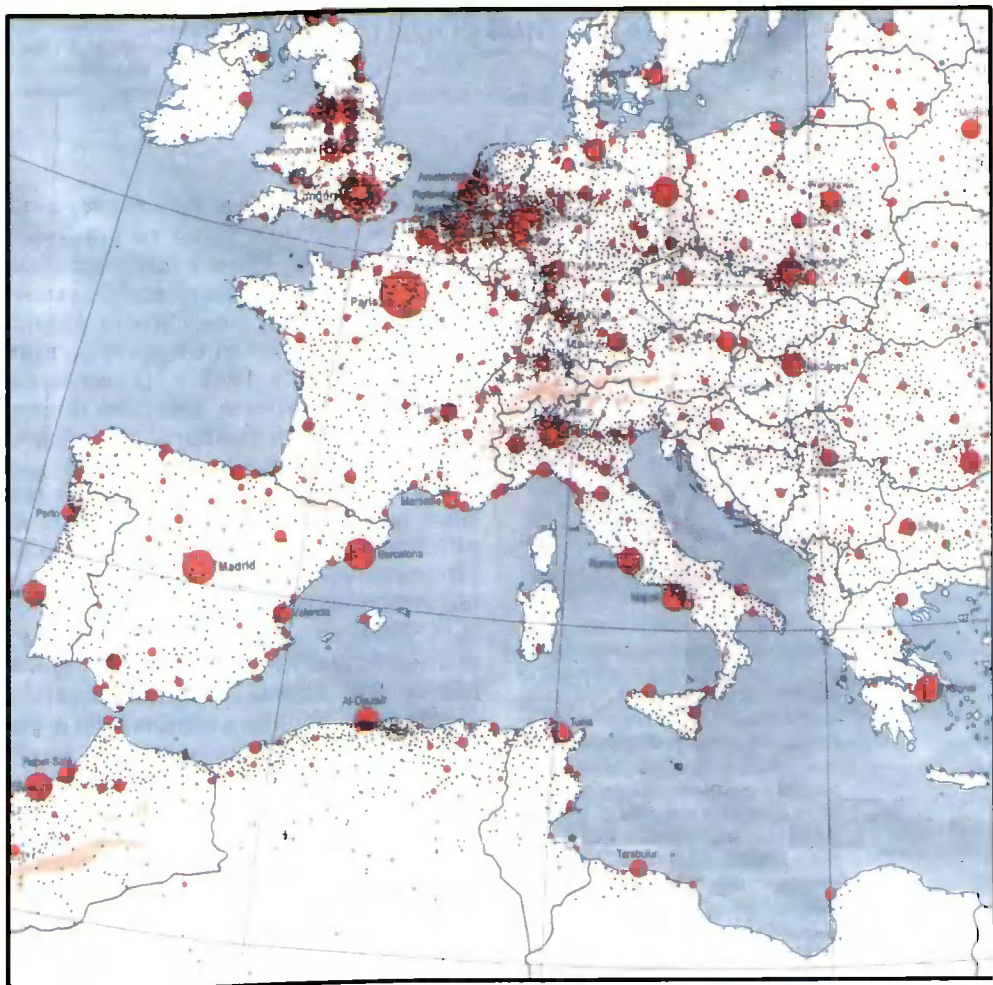
Вот что буквально бросается в глаза. Планета людей асимметрична и контрастна: девять из десяти земель проживают в Северном и лишь только один — в Южном полушарии; 85% живет в Старом Свете (Евразия плюс Африка) и лишь 15% — в Новом (Америка плюс Австралия). Невероятны контрасты в плотности населения: от менее чем одной живой души на квадратный километр в Западной Сахаре, Фолклендских о-вах, Гренландии и Шпицбергене до 4.5—5.5 тыс. — в Гибралтаре, Сингапуре и Гонконге и даже до 20—21 тыс. (!) — в Монако и Макао (впрочем, все это города-государства, хотя за время, прошедшее после 1990 г., и Гонконг, и Макао перестали быть таковыми). Среди аграрных стран наиболее плотно заселены такие островные государства, как Маврикий,

© П.М.Полян

<sup>1</sup> Noin D. People on Earth. World Population Map. UNESCO Publishing. Paris, 1997.



*Фрагменты карты населения мира.*



Барбадос и Мальдивы (500—700 чел./км<sup>2</sup>), но все же они отстают от Бангладеш (764 чел./км<sup>2</sup>) и, особенно, от сектора Газа (1659 чел./км<sup>2</sup>).

В предисловии, написанном Генеральным секретарем ЮНЕСКО Ф.Майором, говорится, в частности, о том, что структура и неравномерность распределения населения по планете Земля не могут быть объяснены исключительно только природными или только историческими факторами.

Три крупнейших по концентрации мирового населения макрорегиона — Китай, Индокитай и Европа (без СНГ) — выбрали более 51% людских ресурсов мира. Чуть больше (52%) сосредоточено в них городских жителей, хотя структура и рисунок городского расселения в Европе совершенно иные, чем в Китае или в Америке: развитой сети европейских городов различного размера противостоит очевидная концентрация городского населения в

нескольких крупнейших мегаполисах.

Карта снабжена содержательным 40-страничным аналитическим комментарием. Она адресована не столько узкому кругу принимающих решения лиц, сколько студентам, преподавателям и исследователям, а также самой широкой публике, что не удивительно: ведь именно она, «широкая публика», в сущности, на карте профессора Нуана и запечатлена.

# Гигантские метеориты XX в.

В.А.Бронштэн



*Виталий Александрович Бронштэн, кандидат физико-математических наук. Астроном, исследователь метеоров и метеоритов. Автор многочисленных книг, в том числе: «Серебристые облака» (совместно с Н.И.Гришиным. М., 1970); «Физика метеорных явлений» (М., 1981); «Метеоры, метеориты, метеороиды» (М., 1987); «Клавдий Птолемей» (М., 1988). Неоднократно печатался в «Природе».*

**У**ХОДЯЩИЙ XX в. был богат на падения крупных, даже гигантских метеоритов. Чего стоит, например, Тунгусский метеорит, взорвавшийся 30 июня 1908 г., или Сихотэ-Алинский железный метеоритный дождь, выпавший 12 февраля 1947 г. О них написаны десятки статей и книг, им посвящены специальные разделы в учебниках.

В этой статье мы хотим рассказать о менее известных или вовсе неизвестных читателям «Природы» метеоритах, история которых и специалистам еще не до конца ясна. Все они могут быть отнесены к числу гигантских.

Один из них упал 68 лет назад, но его исследованиями занялись лишь недавно. Два других — «свежие», они появились в течение последнего года. Естественно, что исследования их только начались. Но обо всем по порядку.

## БРАЗИЛЬСКИЙ ДВОЙНИК ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

Так назвал этот метеорит, упавший 13 августа 1930 г. в Бразилии, в верховьях реки Куруса, наш замечательный исследователь Леонид Алексеевич Кулик (1883—1942). Если Тунгусский метеорит упал в глухой тайге, то Бразильский — в непроходимых джунглях. Он тоже произвел сильные разрушения, напугал местных жителей — рыбаков и сборщиков каучука, которые решили, что наступает конец света.

Первые сведения о Бразильском метеорите поведал миру итальянский миссионер отец Фиделло де Авиано, собравший и записавший рассказы очевидцев. Свои впечатления и результаты опросов он изложил в заметке, опубликованной в газете Ватикана «Оссерваторе Романо» 1 марта 1931 г. Вот что там сообщалось.



Карта района падения Бразильского метеорита. Крестиком показано место расположения депрессий.



Утро 13 августа 1930 г. было ясное, светило недавно взошедшее солнце. Сборщики каучука приступили к работе в чаще леса, рыбаки забросили свои сети в реку, женщины на ее берегах стирали белье. Внезапно, около восьми часов утра, солнце сделалось кроваво-красным и кругом распространилась тьма. На растительность посыпалась красноватая пыль и пепел. Послышался звук, исходивший сверху и напоминавший свист при пролете артиллерийских снарядов. Звук усиливался, пугая всех. Те, кто не побоялся взглянуть на небо, увидели огромные огненные шары, падавшие с неба, подобно разрядам молнии. Они упали в центре леса, причем были слышны три удара, похожие на раскаты грома, сопровождавшиеся сотрясением земли. Взрывы слышали в близлежащих населенных пунктах Ремата де Мале и Эсперанса. Народ (не видевший полета болидов) решил, что это в форте Табатинга ведутся испытания новых орудий и бомб. Некоторые решили даже, что началась война между Бразилией и Перу.

Через пять дней после опубликования статьи де Авиано на страницах английской газеты «Дейли Геральд» появилось сообщение об этом падении, которое сравнивалось с Тунгусским. Корреспондент «Дейли Геральд» справедливо замечал: «Если бы любому из этих двух упавших метеоритов случилось ударить

в густо населенный город, они должны были бы причинить страшный вред жизни людей и нанести огромные убытки».

Заметка в «Дейли Геральд» привлекла внимание Кулика, и он написал большую статью «Бразильский двойник Тунгусского метеорита»<sup>1</sup>. Конечно, сама статья Кулика, напечатанная в русском журнале, не получила широкого резонанса. Но в 1989 г. о ней вспомнили томские исследователи Н.В.Васильев и Г.В.Андреев, много лет посвятившие изучению Тунгусского события. Они, опираясь на статью Кулика, сообщили о Бразильском метеорите в журнале Международного метеоритного общества, который выходит в США на английском языке.

На заметку Васильева и Андреева обратили внимание западные исследователи. За какие-нибудь три месяца 1992 г. вышло несколько статей о бразильском близнеце Тунгуски. Наиболее плодовитым автором оказался Роберто Горелли из Рима, член Союза любителей астрономии Италии. Еще в 1991 г. он получил доступ к архивам Ватикана, но черновых материалов де Авиано (скончавшегося в 1956 г.) ему найти не удалось. Горелли написал миссионерам в бразильский город Сан-Паулу-ди-Оливейра (столица штата Амазонас, где протекает р.Куруса) и получил от них

<sup>1</sup> Кулик Л.А. // Природа и люди. 1931. № 13—14.

весьма полезную информацию. Используя имеющиеся данные, он рассчитал, что масса Бразильского метеорита была от 1000 до 10 000 т, а энергия взрыва — около 100 кт тротилового эквивалента (на два порядка меньше, чем у Тунгусского).

По мнению Горелли, Бразильский метеорит, как и Тунгусский, взорвался в воздухе, на высоте от 5 до 10 км. Мелкие его частицы оседали длительное время и рассеялись на большой территории.

Между тем бразильским явлением заинтересовался английский исследователь метеоров Марк Бэйли из Ливерпульского университета. Он установил контакт с Горелли, затем связался с бразильским ученым Рамиро де ла Реза из Национальной обсерватории в Рио-де-Жанейро, который сразу же включился в работу. Начали с поисков сейсмограмм. На сейсмической станции в Рио никаких следов землетрясения 13 августа 1930 г. обнаружено не было. Но от Рио до р.Куруса — около 3000 км. Бэйли написал на обсерваторию Св.Каликста в Ла-Пасе (Боливия), от которой до Курусы было 1300 км. Боливийские ученые А.Вега из обсерватории Св.Каликста и М.де ла Торре из Университета Св.Андрея нашли запись сейсмографа за 13 августа на станции Ла-Пас. Они сообщили об этом на конференции по Тунгусскому метеориту в Болонье (Италия) в июле 1996 г. Время записи согласовывалось с предполагаемым моментом падения. Запись, как и в случае Тунгусского метеорита, соответствовала регистрации поверхностных волн Рэлея. Сейсмические данные позволили им определить энергию взрыва в 5 Мт, т.е. в половину энергии Тунгусского взрыва, что гораздо больше оценки Горелли.

Рамиро де ла Реза достал снимки верховьев Амазонки, сделанные с самолета несколько лет назад. Из Национального института космических исследований Бразилии были получены две фотографии района падения, снятые спутниками. Изучение всех снимков и радарных изображений района позволили выявить на местности три депрессии:

изолированную и две близкие, расположенные к югу от первой. Одна из них была очерчена хорошо выраженной кольцеобразной структурой диаметром 1 км, ясно различимой на фоне сплошного леса. Как сообщили на конференции в Болонье де ла Реза и его коллеги, эта кольцевая структура, скорее всего являющаяся метеоритным кратером, находится в 25 км от р.Куруса. Расположение депрессий указывает, что полет метеорита был направлен с севера на юг (очевидцы, к сожалению, направления не сообщили).

Дата падения Бразильского метеорита (13 августа) близка к дате максимума метеорного потока Персеид (12 августа). Бэйли высказал предположение о связи метеорита с этим потоком. По его расчетам, в момент падения метеорита радиант Персеид (точка на небесной сфере, откуда движется поток) для наблюдателя на р.Куруса находился на угловой высоте 24° с азимутом 345°, т.е. на севере. Если Бразильский метеорит действительно связан с потоком Персеид, то он должен был лететь именно с севера на юг.

В связи с этим напомним, что в 1995 г. группа российских астрономов (М.А.Смирнов, А.М.Микиша и др.) из Института астрономии РАН с помощью метрового телескопа Симеизской обсерватории обнаружила в период действия потока Персеид тела размером до 50 м, летевшие из радианта потока. Этим размерам соответствуют массы в десятки тысяч тонн. До поверхности Земли такие тела, как правило, не долетают, полностью разрушаясь в атмосфере. Но может быть, Бразильский метеорит был столь велик, что не успел разрушиться?

Еще в 1995 г. встал вопрос о научной экспедиции на место падения Бразильского метеорита. Организовать ее удалось только в июне 1997 г. Руководил ею де ла Реза. Были обнаружены все три депрессии, но осколков метеорита, как и в случае Тунгусского тела, найти пока не удалось.

Возникает вопрос: почему? Неужели мы и тут имеем дело с осколком

кометы, ведь поток Персеид порожден кометой 1862 Ш (Свифта—Туттля)? По-видимому, при ударе о землю космические «гости» полностью испарились, не оставив следов. Нужно применять более тонкие методы, используя богатый опыт, накопленный исследователями Тунгусского метеорита.

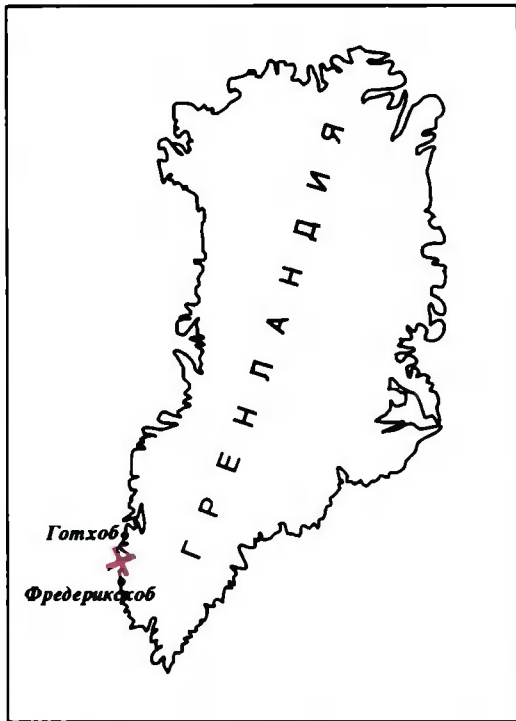
### ГРЕНЛАНДСКИЙ МЕТЕОРИТ

В самом конце 1997 г. электронная почта принесла сообщение Копенгагенской обсерватории о падении 9 декабря гигантского метеорита на юге Гренландии. Полет болида наблюдали рыбаки с трех траулеров, находившихся близ южного побережья острова. Его зарегистрировали два метеорологических спутника. Были зафиксированы и сейсмические волны.

Масса метеорита была рассчитана по данным наблюдения с метеоспутников необычного темного облака поперечником в 120 км, часть которого — странная полоса длиной 100 км — совпадала с направлением полета болида. Астрономы Копенгагенской обсерватории оценили объем облака в 50 тыс. км<sup>3</sup> и по нему определили массу метеорита в 4 млн т, т.е. равную или даже большую, чем у Тунгусского метеорита. Однако вскоре выяснилось, что приведенная оценка сильно завышена, т.к. оказалось, что облако имеет вполне земное происхождение и никак не связано с метеоритом, так что величина массы последнего сразу упала до 30—100 т к моменту падения.

В апреле 1998 г. к северу от г. Паамиута были обнаружены мельчайшие частицы метеорита, которые позволили более точно определить место его падения. Это — западное побережье Гренландии, южнее ее главного города Готхоба (бывшего Нука), в 10 км северо-восточнее пункта с координатами 63°05'с.ш., 50°48'з.д.

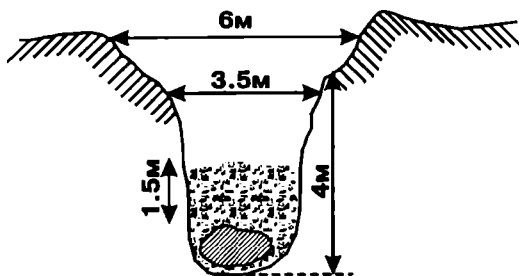
Точное время падения (местное) 5 ч 11 мин. В начале декабря в этих местах — на широте 63° — стоит полярная ночь, и полет болида был хорошо виден.



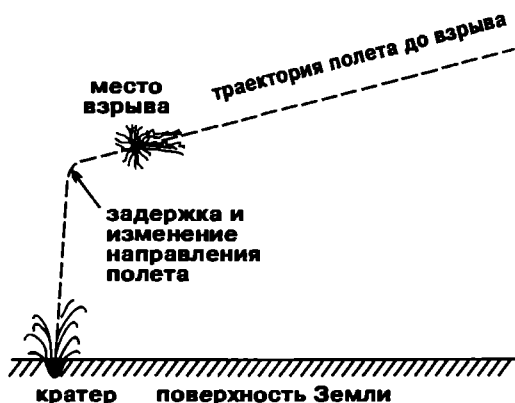
*Карта Гренландия. Место предполагаемого падения Гренландского метеорита обозначено крестиком.*

Анализ собранных мелких осколков показал, что метеорит — каменный. При микроскопическом изучении четко выделяются темные округлые частицы, характерные для наиболее распространенного класса каменных метеоритов — хондритов. В составе гренландского метеорита установлены силикатные минералы, такие как оливин, пироксены и др.

В конце июля 1998 г. на поиски главной массы метеорита отправилась экспедиция американских и датских ученых. Во главе стоял инженер Жан Олмквист, который раньше вместе с гляциологами из университетов штатов Нью-Гемпшир и Небраска проводил систематические гляциологические наблюдения на северо-западе Гренландии. Кроме астрономов и геофизиков в состав экспедиции входили альпинисты — предстоял нелегкий путь по гренландским ледникам.



*Схема кратера метеорита Куня-Ургенч (по С.Мухамедназарову). Показано положение главной массы метеорита и присыпавшего ее слоя почвы.*



*Схема полета и падения метеорита Куня-Ургенч (по С.Мухамедназарову).*

Экспедиция проработала месяц и в конце августа вернулась в Копенгаген, так и не обнаружив главный метеорит. Наблюдения со спутников показали, что он еще в полете раздробился на четыре крупных фрагмента. Напомним, что метеорит Пикскилл, упавший 9 октября 1992 г. на северо-западе США, разлетелся на 70 фрагментов, которые были засняты видеокамерами футбольных болельщиков. Дело было во время студенческих спортивных соревнований. Но из 70 фрагментов до земли долетел только один.

Судьбу осколков Гренландского метеорита попытается выяснить новая экспедиция летом 1999 г.

## МЕТЕОРИТ КУНЯ-УРГЕНЧ

Этот небесный гость упал спустя полгода после Гренландского, 20 июня 1998 г., и не во льдах Гренландии, а в солнечной Туркмении.

Дело было в 17 ч 25 мин по местному времени. Семья Нарли Гандымова работала на хлопковом поле, когда сверху послышался свист, грохот и сильный треск. Люди подумали, что летит самолет, но самолета не было — с неба падал большой предмет, похожий на бомбу.

Но вот предмет упал, взрыва не последовало. Только взметнулось к небу облако пыли. На всякий случай вызвали из Ташауза офицеров гражданской обороны. Те приехали незамедлительно, осмотрели таинственный предмет, успокоили народ, сообщили в Ашхабад. Уже 26 июня метеорит был доставлен в столицу республики, а 27 июня была организована научная экспедиция на место падения во главе с директором НТЦ «Климат» Национального комитета по гидрометеорологии при Кабинете министров Туркменистана, известным исследователем метеоров Сеидназаром Мухамедназаровым. За два дня было опрошено около 20 местных жителей — прямых очевидцев движения болида и падения метеорита.

Четырнадцатилетний школьник Язмурад Бекчеров, находившийся в это время в селе Заман, в 8 км к северо-востоку от места падения, увидел на небе светящийся след, а затем три ярких полосы. Мальчик услышал грохот, свист, треск, которые напугали и его самого, и животных рядом с ним. Через несколько секунд последовал сильный удар, и Бекчеров ощутил колебания земли. На небе образовалось большое темное облако, расположившееся вдоль траектории болида. Погода в это время была ясная. Болид, по наблюдениям Бекчерова, ярче солнца, от него крупные предметы отбрасывали тени.

Сотрясение земли и звуковые явления ощутили все жители района. Сильный грохот был слышен даже в 110 км от места падения жителями г.Ташауз.

На месте падения образовался кратер диаметром около 6 м. Метеорит врезался в глинистую почву на глубину около 4 м и был присыпан полутораметровым слоем земли, выброшенной при ударе.

Размеры главной массы метеорита, доставленной в Ашхабад, —  $72 \times 81 \times 48$  см<sup>3</sup>. Первоначальная оценка плотности составляла 3 г/см<sup>3</sup>. Отсюда масса метеорита оценена (а не измерена прямым взвешиванием) в 820 кг. Были найдены отдельные фрагменты размером до 20 см и весом до 10 кг и множество мелких осколков, общей массой около 30 кг. С учетом еще не найденных частей суммарная масса упавшего метеорита должна составлять 900—1000 кг.

Метеорит — каменный, хондрит. Туркменский гигант, которому было присвоено название Куня-Ургенч — по имени ближайшего города (в далеком прошлом здесь была столица Хорезма), среди каменных метеоритов занимает первое место в странах СНГ и третье место в мире после метеоритов Гирин (Китай, 1500 кг) и Нортон-Каунти (США, 1000 кг).

Хотя 6 декабря 1922 г. на территории СССР, в Волгоградской обл., выпал каменный метеоритный дождь Царев, общая масса которого достигла 1225 кг, наибольший экземпляр его имеет массу 284 кг и, таким образом, втрое уступает Куня-Ургенчу.

По параметрам метеорита и образованной им воронки нам удалось вычислить скорость при его ударе о землю — 1.5 км/с. Затем был восстановлен характер его прохождения через атмосферу с торможением и потерей массы. По нашим расчетам, метеорит имел первоначальную массу около 3 т и влетел в атмосферу со скоростью 13 км/с под углом 30° к горизонту. Взрыв произошел, очевидно, на высоте 10—15 км, именно там образовалось темное облако. Расчеты, произведенные В.Е.Жаровым под руководством автора, опреде-



Главная масса метеорита Куня-Ургенч.

Рис. А.Г.Бушмакина (Ашхабад)

лили высоту взрыва в 12 км, после которого метеорит стал падать почти вертикально. Во время взрыва испарилось около тонны вещества. Столько же метеорит потерял при движении в атмосфере. Около тонны выпало на землю. По такой схеме расчета скорость при ударе о грунт равна 1.55 км/с, что хорошо согласуется со скоростью, найденной по параметрам метеорита и воронки.

Следующим этапом было вычисление орбиты небесного гостя в Солнечной системе. Учитывая притяжение Земли, можно определить геоцентрическую скорость метеорита. Она оказалась равной 7 км/с. Как показали очевидцы, метеорит летел с юго-востока. Это означало, что его радиант находился в созвездии Девы, на угловом расстоянии 15—24° от антиапекса (точки на небесной сфере, откуда движется Земля относительно Солнца). Значит, метеорит догонял Землю, и его гелиоцентрическая скорость была 36 км/с.

Орбита метеорита напоминает типичную орбиту астероидов группы Аполлона. Его перигелий находится внутри земной орбиты, на небольшом расстоянии. Афелий же находится в 3 а.е. от Солнца, в области пояса астероидов. Таким образом, большая полуось орбиты метеорита — 2 а.е. Наклонение ее к плоскости эклиптики мало — от 1 до 6°. Куня-Ургенч встретил Землю в восходя-

щем узле своей орбиты, вскоре после прохождения через перигелий.

Метеорит принадлежит к классу хондритов Н5. Его плотность — 3.3 г/см<sup>3</sup>. У хондритов плотность, согласно Е.Л.Кринову, колеблется от 3.10 до 3.84 г/см<sup>3</sup>. Вещество метеорита светло-серое, хрупкое. В отдельных его частях наблюдаются необычно крупные металлические включения. Детальное исследование вещества проводится в Институте геохимии и аналитической химии им.В.И.Вернадского РАН.

Мы рассказали о трех гигантских метеоритах XX в. Два из них, подобно Тунгусскому, окружены ореолом таинственности: их главные массы не обнаружены, они испытали взрыв в воздухе. В обоих случаях падения произошли в труднодоступных районах. Третий метеорит — туркменский — найден по свежим следам, но и он испытал взрыв в воздухе. Разработка физической теории подобных взрывов — сейчас, пожалуй, наиболее актуальная задача для теоретиков.

## ОБЪЯВЛЕНИЕ

---

Дорогие читатели!

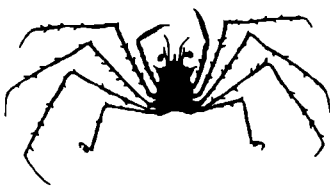
Подписывайтесь на «Природу» в редакции журнала! Это обойдется вам намного дешевле. Цена льготной подписки ( в редакции ) на II полугодие 1999 г. — 30 руб. за номер или 180 руб. за полугодие. Иногородние могут выслать деньги за подписку почтовым переводом, добавив стоимость пересылки шести бандеролей весом 200 г.

Наш адрес: 117049, Москва, Мароновский пер., 26, «Природа», И.Ф.Александровой (тел. 095-238-24-56).

Если вы намерены подписаться на почте, ищите сведения о «Природе» в Объединенном каталоге «Подписка - 99», т. 1, с. 184. Базовая цена подписки — 78 руб. за номер или 468 руб. за полугодие.

## Как декапода встретила с декаподой

К. Н. Несис,  
доктор биологических наук  
Москва



*Кrab-паук. Крючочки на последней паре ног при жизни загнуты вверх.*

**ДЕКАПОДЫ** с греческого — десятиногие. Это название зоологи применяют к двум совершенно разным группам животных. Десятиногие моллюски — кальмары и каракатицы — имеют десять конечностей. Десятиногие ракообразные — креветки, крабы и раки-отшельники — десять ходильных ног, но обычно первая пара несет клешни. Чтобы не путаться, декапод-моллюсков переименовали в десятируких: у них восемь рук и два шупальца, итого 10. Встреча декаподы-моллюска с ракообразной декаподой кончается просто: кальмар перекусывает креветке спинку и пожирает ее, а каракатица делает то же самое с крабом. Бывает и наоборот, хотя реже: крабу попадает сонная каракатица, которая для маскировки засыпала себя песком (каракатицы спят днем), а хищной креветке — умирающий после размножения кальмар. Но однажды случилось совсем по-другому.

Два исследователя — С.Л.Маклей из Кентерберийского университета в Крайстчерче (Новая Зеландия) и Д.Жино из Национального музея естественной истории в Париже<sup>1</sup> — обнаружили в коллекции ракообразных, выловленных в водах у Филиппинских о-вов, взрослую самку краба-паука латрейиопсиса двухшипного (*Latreilliopsis bispinosa*), у которой на каждой из ног задней пары находилось по два довольно крупных (5 мм в диаметре) черных яйца, явно принадлежавших каракатице из рода *Sepia*.

Кrab-паук — животное с очень длинными тоненькими

ножками и маленьким угловатым панцирем (у этого экземпляра, пойманного на глубине 190 м, длина панциря 24 мм). Яйца каракатицы были прикреплены к задним ногам краба коротким (1.5 мм) стебельком, приклеивающимся подобно хорошо всем известной липучке. Из двух вскрытых исследователями яиц в одном находился готовый к вылуплению эмбрион каракатицы, а из второго юная каракатица уже вылупилась, осталась пустая оболочка.

Каракатицы часто кладут яйца на веточки кораллов и водорослей, трубки червей и другие тонкие длинные предметы, к которым яйцо удобно примотать или привязать стебельком. Для маскировки они обливают свежее отложенные яйца своими черными «чернилами». Для краба-паука обычна такая поза: ножки 2—4-й пар вытянуты и выпрямлены, клешни наготове, а ножки последней, 5-й пары (они короче и на концах несут особые крючочки), подняты вверх. Крючочками крабы зацепляют губок, актиний, кусочки кораллов и таскают на себе, на поднятых ногах задней пары. Под таким прикрытием нелегко краба опознать. Каракатица вполне могла принять поднятые вверх задние ножки за веточки. Так что, с точки зрения каракатицы, ничего особенного не про-

изошло, ну ошиблась: палочки оказались ногами краба.

Ни на одном из хранящихся в музее крабов этого вида яиц каракатиц не было, и в литературе таких сведений обнаружить не удалось. Отыскали только сообщение, что однажды в Китае на ногах краба совершенно другого вида — японской парадромии (*Paradromia japonica*) нашли яйца кальмара. (Крабы этого вида тоже носят на задних ногах губок и асцидий, которыми часто прикрывают все свое тело сверху; крабы сами отцепляют их клешнями от дна и надевают на задние ноги для камуфляжа.) Видимо, этот краб по жадности залез в поставленную на кальмаров ловушку, а уже попавшая в нее кальмариха выметала прямо на стенку ловушки кладку — чтобы освободиться от яиц. Возможно, краб со страху и отцепил такую кладку и надел ее на себя: вдруг да скроется от врага таким хитрым приемом! Больше ни одного случая использования десятиногого животного (краба) десятируких (каракатицей) для откладки яиц не известно.

Но если для каракатицы, отложившей яйца на крабьи ножки, это была всего-навсего ошибка, то как же представить себе чувства краба, на которого каракатица неторопливо привязывала одно яйцо за другим, даже не подзревая, что имеет дело не с веточками, а с живым существом. Наверное, со страху краб замер так неподвижно, что каракатица и впрямь посчитала его за неживой предмет! И еще долго, небось, стоял без движения, после того, как самка каракатицы, выполнив важнейшее в своей жизни дело — отложив яйца, наконец, удалилась.

© К.Н.Несис

<sup>1</sup> McLay C.L., Guinot D. // J. Crustacean Biology. 1997. V.17. № 4. P.692—694.

# Радиоактивный цезий-137

И. Я. Василенко



*Иван Яковлевич Василенко, доктор медицинских наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, ведущий научный сотрудник Государственного научного центра РФ — Института биофизики. Область научных интересов — токсикология продуктов ядерного деления, радиационная гигиена.*

**С**РЕДИ антропогенных радионуклидов, глобально загрязняющих биосферу, особого к себе внимания требует радиоактивный цезий — один из основных источников, формирующих дозы внешнего и внутреннего облучения людей. Известно 34 изотопа цезия с массовыми числами 114—148, из них только один ( $^{133}\text{Cs}$ ) стабильный, остальные — радиоактивны.

$^{133}\text{Cs}$  относится к рассеянным элементам. В незначительных количествах он содержится практически во всех объектах внешней среды. Кларковое (среднее) содержание нуклида в земной коре —  $3.7 \cdot 10^{-4} \%$ , в почве —  $5 \cdot 10^{-5} \%$ . Цезий — постоянный микроэлемент растительных и животных организмов: в живой фитомассе содержится в количестве  $6 \cdot 10^{-6} \%$ , в организме человека — примерно  $15 \cdot 10^{-4} \text{ г}$ . Этот нуклид поступает в основном с пищей в количестве 10 мкг/сут. Выводится из организма преимущественно с мочой (в среднем 9 мкг/сут). Биологическая роль цезия до сих пор окончательно не раскрыта.

Из радиоактивных изотопов цезия наиболее интересен  $^{137}\text{Cs}$  с периодом полураспада 30 лет.  $^{137}\text{Cs}$  —  $\beta$ -излучающий нуклид со средней энергией  $\beta$ -частиц 170.8 кэВ. Его дочерний нуклид  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  имеет период полураспада 2.55 мин и испускает  $\gamma$ -кванты с энергией 661 кэВ.  $^{137}\text{Cs}$  широко применяется в медицине (для диагностики и лечения), радиационной стерилизации, дефектоскопии и во многих других технологиях. Другие радиоизотопы цезия имеют меньшее значение.

## ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЦЕЗИЯ

Известно, что выброс радиоактивного цезия в окружающую среду проис-



Таблица 1

Динамика накопления  $^{137}\text{Cs}$  (в % полной  $\beta$ -активности) в работающем ядерном реакторе

1 ч	1 сут	10 сут	1 мес	5 мес	1 год	5 лет	10 лет
$4 \cdot 10^{-5}$	0.002	0.02	0.07	0.44	1.98	18.24	31.58

ходит в основном в результате испытаний ядерного оружия и аварий на предприятиях атомной энергетики. В реакторах выход  $^{137}\text{Cs}$  зависит от делящегося материала и энергии нейтронов, вызывающих деление, и составляет<sup>1</sup> по активности 5.1—6.3%. Относительное содержание радиоцезия в продуктах деления меняется с их «возрастом» (табл.1).

Испытание ядерного оружия — один из наиболее значимых источников радиоактивного загрязнения планеты, в том числе  $^{137}\text{Cs}$ . К началу 1981 г. суммарная активность<sup>2</sup> поступившего в окружающую среду  $^{137}\text{Cs}$  достигла 960 ПБк. Плотность загрязнения<sup>3</sup> в Северном и Южном полушариях и в среднем на земном шаре составляла соответственно 3.42; 0.86 и 3.14 кБк/м<sup>2</sup>, а на территории бывшего СССР<sup>4</sup> в среднем — 3.4 кБк/м<sup>2</sup>.

В ядерных реакторах в процессе их эксплуатации накапливаются продукты деления (фиссиум) и трансураниевые элементы, суммарная активность которых огромна. Среди радионуклидов фиссиума радиоизотопы цезия занимают значительное место (табл.2). На 1 МВт (эл. мощности) этого радионуклида за год образуется столько, что его активность составляет 130 ТБк (Т, тера —  $10^{12}$ ). Суммарное накопление нуклида в реакторах всего мира (в пересчете на

активность) к концу столетия достигнет 900 ЭБк (Э, эксa —  $10^{18}$ ), что примерно в тысячу раз больше количества поступивших во внешнюю среду радионуклидов при ядерных взрывах.

Известно, что при нормальных условиях эксплуатации АЭС выбросы радионуклидов, в том числе радиоактивного цезия, незначительны. Подавляющее количество продуктов ядерного деления остается в топливе. По данным дозиметрического контроля, концентрация цезия в районах расположения АЭС лишь незначительно превышает концентрацию нуклида в контрольных районах, где загрязнение среды происходит за счет испытаний ядерного оружия<sup>5</sup>. Объем выбросов радионуклидов зависит от конструктивных особенностей реакторов, времени их эксплуатации, способа очистки и состояния оборудования. Источником загрязнения могут быть и радиохимические заводы (РХЗ) по переработке отработанных твэлов, и хранилища радиоактивных отходов. По прогнозу Научного комитета по действию атомной радиации при ООН (НКДАР), выбросы радиоцезия к 2000 г. могут достигнуть 1.5—5.2 ТБк.

Чрезвычайно сложные ситуации возникают после аварий, когда во внешнюю среду поступает огромное количество радионуклидов и загрязнению подвергаются большие территории. На-

<sup>1</sup> Гусев Н.Г. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник. М., 1986.

<sup>2</sup> Напомним: Бк (Беккерель) — единица радиоактивности в системе СИ. Такую активность имеет источник, в котором происходит 1 радиоактивный распад за 1 с. На практике чаще пользуются старой единицей активности Ки (Кюри). В источнике с активностью 1 Ки происходит  $3.7 \cdot 10^{10}$  распадов в 1 с. Поэтому 960 ПБк ≈ 26 МКи (приставка П, пета, означает  $10^{15}$ ).

<sup>3</sup> Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты // Докл. за 1982 г. Нью-Йорк: Научный ком. по действию атомной радиации при ООН, 1982. Т.1.

<sup>4</sup> Моисеев А.А. Цезий-137: Окружающая среда. Человек. М., 1980.

Таблица 2

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  (ПБк/т урана) в реакторе ВВЭР-1000 (после его остановки) во времени (Колобашкин В.М. и др., 1982)

1 сут	120 сут	1 год	3 года	10 лет
4.69	4.65	4.58	2.73	0.26

<sup>5</sup> Гусев Н.Г. // Атомная энергия. 1976. Вып.41. № 4. С.254—260.

пример, при аварии на Южном Урале в 1957 г. произошел тепловой взрыв хранилища радиоактивных отходов, и в атмосферу поступили радионуклиды с суммарной активностью 74 ПБк, в том числе 0.2 ПБк  $^{137}\text{Cs}$ . При пожаре на РХЗ в Уинденейле в Великобритании в 1957 г. произошел выброс 12 ПБк радионуклидов, из них 46 ТБк  $^{137}\text{Cs}$ . Технологический сброс радиоактивных отходов предприятия «Маяк» на Южном Урале в р.Течу в 1950 г. составил 102 ПБк, в том числе  $^{137}\text{Cs}$  12.4 ПБк. Ветровой вынос радионуклидов из поймы оз.Карачай на Южном Урале в 1967 г. составил 30 ТБк. На долю  $^{137}\text{Cs}$  пришлось 0.4 ТБк. Настоящей катастрофой стала в 1986 г. авария на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС): из разрушенного реактора было выброшено 1850 ПБк радионуклидов, при этом на долю радиоактивного цезия пришлось 270 ПБк. Распространение радионуклидов приняло планетарные масштабы. На Украине, в Белоруссии и Центральном экономическом районе Российской Федерации выпало более половины от общего количества радионуклидов, осевших на территории СНГ. Известны случаи загрязнения внешней среды в результате небрежного хранения источников радиоактивного цезия для медицинских и технологических целей.

### МИГРАЦИЯ ВО ВНЕШНЕЙ СРЕДЕ

Цезий легко мигрирует во внешней среде, чему способствуют два обстоятельства. Во-первых,  $^{137}\text{Cs}$  — конечный продукт цепочки распадов:  $^{137}\text{I}(24.2 \text{ с}) \xrightarrow{\beta^-} ^{137}\text{Xe}(3.9 \text{ мин}) \xrightarrow{\beta^-} ^{137}\text{Cs}$ , в которой йод и ксенон присутствуют в газовой фазе. При ядерных взрывах образуются мелкодисперсные частицы, адсорбирующие цезий и медленно выпадающие на поверхность земли. Процесс выпадения ускоряют атмосферные осадки и агрегация частиц с образованием более крупных. Во-вторых, при всех (кроме подземных) ядерных взрывах и аварийных выбросах предприятий

атомной энергетики выпадения содержат цезий в хорошо растворимой форме, что имеет принципиальное значение в процессах его миграции. При наземных взрывах на силикатных почво-грунтах образуются слаборастворимые частицы. Содержание радионуклида в атмосферных осадках при ядерных взрывах в слаборастворимой форме колебалось в широких пределах<sup>6</sup> — 3.3–82.4% (мас).

Выпавший на поверхность земли радиоактивный цезий перемещается под воздействием природных факторов в горизонтальном и вертикальном направлениях. Горизонтальная миграция происходит при ветровой эрозии почв, смывании атмосферными осадками в низменные бессточные участки. Скорость миграции зависит от гидрометеорологических факторов (скорости ветра и интенсивности атмосферных осадков), рельефа местности, вида почв и растительности и физико-химических свойств нуклида. Вертикальный перенос цезия происходит с фильтрационными токами воды и связан с деятельностью почвенных животных и микроорганизмов, выносом из корнеобитаемого слоя почвы в наземные части растений и др. Подвижность и биологическая доступность нуклида со временем снижается в результате перехода в «слабообменное» состояние.

В первые годы после выпадения цезий в основном содержится в верхнем, 5–10-сантиметровом, слое почвы независимо от ее вида. Удержание нуклида происходит благодаря высокому содержанию в верхнем слое мелкодисперсных фракций (особенно глинистых) и органических веществ, повышающих сорбционные свойства почвы. Проникновение радиоактивного цезия на глубины 30–50 см, очевидно, занимает десятки и сотни лет, однако перераспределение его по профилю почвы может произойти и быстрее — в результате сельскохозяйственной деятельности. В этом случае нуклид относительно равно-

<sup>6</sup> Павлоцкая Ф.И. Миграция продуктов глобальных выпадений в почвах. М., 1974.

мерно рассредоточивается в пределах всего пахотного слоя.

Как правило, «путешествие»  $^{137}\text{Cs}$  по пищевым цепочкам начинается с растений, куда нуклид может попасть непосредственно в момент радиоактивных выпадений, либо косвенно — через листья, стебли и корневую систему с пылью и водой. Уровни поверхностного загрязнения растений определяются их морфологическими особенностями и физико-химическими свойствами выпадающих аэрозолей. Известно, что растения способны задерживать аэрозоли с размером частиц менее 45 мкм. Особенно высокое содержание радионуклидов отмечено у лишайников, чая и хвойных деревьев, что связано с их биологическими особенностями. Относительно аэрозольного цезия установлено, что более всего он накапливается в капусте, далее по убыванию — свекле, картофеле, пшенице и естественной травянистой растительности. Накопление цезия в растительном покрове (разнотравье) относительно содержания этого нуклида в окружающей среде в средней полосе колеблется от 0.1 до 0.36. Со временем уровни загрязнения растений снижаются в результате прямых потерь (под действием дождя и ветра) и прироста биомассы: так, примерно в течение двух недель содержание нуклидов в пастбищной растительности уменьшается вдвое.

Уровень поглощения растворимого цезия растениями с их поверхности может достигать 10%. Сначала он накапливается в листьях, зернах, клубнях и корнеплодах, а в дальнейшем поступает в основном через корневую систему. Степень его усвоения колеблется в широких пределах и зависит от вида почв и особенностей растений. Наиболее высокие показатели зафиксированы на торфянисто-болотистых почвах Украинско-Белорусского полесья<sup>7</sup>. После аварии на ЧАЭС коэффициент перехода цезия (т.е. отношение активности единицы массы растения, Бк/кг, к загрязнению почвы,

Бк/км<sup>2</sup>) в растения из почв полесского типа составлял<sup>8</sup>: для зерна —  $4.8 \cdot 10^{-9}$ , картофеля —  $1-2 \cdot 10^{-11}$ , огурцов —  $6 \cdot 10^{-12}$ , помидоров —  $1-4 \cdot 10^{-11}$ .

Основной источник поступления цезия в организм человека — загрязненные нуклидом продукты питания животного происхождения. Содержание радиоактивного цезия<sup>9</sup> в литре коровьего молока достигает 0.8—1.1% от суточного поступления нуклида, козьего и овечьего — 10—20%. Однако в основном он накапливается в мышечной ткани животных: в 1 кг мяса коров, овец, свиней и кур содержится 4, 8, 20 и 26% (соответственно) от суточного поступления цезия. В белок куриных яиц попадает меньше — 1.8—2.1%. Еще в больших количествах цезий накапливается в мышечных тканях гидробионтов: активность 1 кг пресноводных рыб может превышать активность 1 л воды более чем в 1000 раз (у морских — ниже).

Отметим, основным источником цезия для населения России — молочные и зерновые продукты (после аварии на ЧАЭС — молочные и мясные), в странах Европы и США цезий поступает в основном с молочными и мясными продуктами и меньше — с зерновыми и овощными.

## БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ

В организм животных и человека  $^{137}\text{Cs}$  проникает в основном через органы дыхания и пищеварения. Растворимый  $^{137}\text{Cs}$  в кишечнике и легких всасывается практически полностью, однако у жвачных животных этому препятствуют содержащиеся в корме клетчатка и калий. Хорошей защитой для человека и животных служит кожа: через неповрежденную поверхность проникает всего 0.007% нанесенного количества нуклида, а через обожженную — 20%; через рану в течение первых 10 мин всасыва-

<sup>7</sup> Марей А.Н., Зыкова А.С., Сауров М.М. Радиационная коммунальная гигиена. М., 1984.

<sup>8</sup> Книжников В.А., Бархударов Р.М., Брук Г.Я. и др. Медицинские аспекты аварии на Чернобыльской атомной электростанции // Материалы науч. конф. 11—13 мая 1988, Киев, 1988. С.66—76.

<sup>9</sup> Василенко И.Я. // Вопр. питания. 1988. № 4. С.4—11.

ется 50%, а через три часа — более 90% нанесенного количества. Независимо от пути поступления около 80%  $^{137}\text{Cs}$  накапливается в мышцах, 8% — в скелете и остальная часть относительно равномерно распределяется в других тканях.

Из организма матери  $^{137}\text{Cs}$  проникает через плаценту в плод, причем, чем старше эмбрион, тем в больших количествах нуклид накапливается в его органах и тканях.

В условиях постоянного поступления цезий накапливается в органах и тканях до определенного предела. Вначале процесс протекает интенсивно, затем постепенно затухает, и наступает равновесное состояние, когда, несмотря на присутствие нуклида в окружающей среде, его содержание в организме остается постоянным. Время достижения такой стабилизации зависит от вида животных и их возраста. При этом, чем старше животное, тем в меньших количествах радиоцезий накапливается в органах и тканях. Равновесное состояние у коров наступает примерно к концу месяца, у овец и коз — через 10 дней<sup>10</sup>. У человека радиоактивный цезий накапливается в организме и в мышечной ткани, в частности, в пропорции 94:68, а равновесное состояние устанавливается через 431 сут<sup>11</sup>.

Выводится  $^{137}\text{Cs}$  в основном через почки и кишечник. В течение первого месяца после прекращения поступления организм избавляется примерно от 80% введенного количества, причем процесс выведения сопровождается повторным всасыванием значительных количеств цезия в кровь в нижних отделах кишечника.

По данным Международной комиссии по радиологической защите, биологический период выведения половины накопленного  $^{137}\text{Cs}$  для человека принято считать равным 70 сут. Выведение нуклида зависит от многих факторов (физиологического состояния, питания и др.): у пяти случайно облученных человек биологический период выведения

существенно различался и составлял 124, 61, 54, 36 и 36 сут.

При равномерном распределении  $^{137}\text{Cs}$  в организме человека с удельной активностью 1 Бк/кг мощность поглощенной дозы, по данным различных авторов, варьирует от 2.14 до 3.16 мкГр/год. Для новорожденных при одинаковой удельной концентрации нуклида значение дозы в 2.3 раза ниже, чем у взрослого человека.

$^{137}\text{Cs}$  высоко токсичен независимо от пути поступления его в организм. Биологическая эффективность радионуклида при внешнем и внутреннем облучении в сопоставимых поглощенных дозах практически одинакова. Относительно равномерное распределение инкорпорированного нуклида в организме приводит, как и при внешнем облучении, к равномерному облучению органов и тканей. Этому способствует также большая проникающая способность  $\gamma$ -квантов его дочернего нуклида  $^{137\text{m}}\text{Ba}$  ( $E_{\gamma}=0.662$  МэВ): длина пробега их в мягких тканях человека достигает примерно 12 см.

В опытах у крыс острые, подострые и хронические поражения развивались при введении  $^{137}\text{Cs}$  в количестве 0.8; 0.65 и 0.37 МБк/г соответственно. При острых поражениях животные погибали через две-три недели, когда организм получал дозу около 30 Гр. Наоборот, в количестве 0.08—0.13 МБк/г цезий уже не оказывал влияния на продолжительность жизни крыс. Однако на длительные сроки у животных изменялась формула крови: уменьшалось количество лейкоцитов и тромбоцитов; а в дальнейшем развивались доброкачественные и злокачественные опухоли. Интересно, что при ежедневном поступлении радионуклида в малых количествах —  $3.7 \cdot 10^3$  и  $3.7 \cdot 10^4$  Бк/сут, когда поглощенные дозы варьировали от 0.37 до 3.7 Гр, состояние животных существенно не менялось, за исключением кратковременных нарушений иммуните-

<sup>10</sup> Корнеев Н.А., Сироткин А.Н. Основы радиэкологии сельскохозяйственных животных. М., 1987.

<sup>11</sup> Булдаков Л.А. Радиоактивные вещества и человек. М., 1990.

<sup>12</sup> Шубик В.М., Колотвин В.А. и др. Теоретические и практические аспекты малых доз радиации. Сыктывкар, 1973.

та. Еще меньшие поступления цезия — 370 и 37 Бк/сут — нарушений не вызывали<sup>12</sup>.

У собак уже пятикратное, по сравнению с крысами, уменьшение удельного поступления <sup>137</sup>Cs вызывало острые радиационные поражения с симптомами, во многом схожими с острой лучевой болезнью при внешнем  $\gamma$ -облучении: угнетенное состояние и слабость, снижение массы тела, диарея, внутренние кровоизлияния. Изменения показателей крови также типичны для острой лучевой болезни.

У человека можно ожидать развитие радиационных поражений при поступлении цезия в еще меньших удельных количествах (в два-три раза по сравнению с собаками), когда поглощенная доза превысит примерно 2 Гр. Уровням поступления в 148, 370 и 740 МБк соответствуют легкая, средняя и тяжелая степени поражения, хотя лучевая реакция отмечается уже при единицах МБк. Эти выводы сделаны в результате клинических наблюдений за людьми, пострадавшими в различных ситуациях. Приведем несколько примеров.

У человека, случайно выпившего раствор <sup>137</sup>Cs с активностью 148 МБк, симптомы поражения нарастали постепенно<sup>13</sup>, по мере роста дозы внутреннего облучения, которая до полного выведения нуклида составила около 2,4 Гр. Болезнь протекала с умеренными функциональными нарушениями, лечение ускорило выведение радионуклида из организма и смягчило течение болезни.

В другом случае<sup>14</sup> человек пострадал от смеси <sup>134</sup>Cs и <sup>137</sup>Cs с активностью около 185 МБк. Доза облучения за первые три месяца оценена в 1,3 Гр, а за три года — 3 Гр. В результате изменились показатели крови, нарушились функции печени и сердечно-сосудистой системы. Лечение смягчило эти симптомы, однако и в отдаленные сроки регистрировали нестойкую лейко- и тромбоцитопению, а также развитие дистрофи-

ческих процессов в сердечной мышце, нарушение функции печени и вегетативно-сосудистую дистонию.

В 1963 г. описан случай<sup>15</sup>, когда пять человек были облучены вследствие вдыхания воздуха с радиоактивным цезием. В результате в их легкие поступило 2—5 МБк радионуклида.

В 1987 г. в г.Гояни (Бразилия) в результате небрежного хранения источника цезия облучились 244 человека<sup>16</sup>. Острые комбинированные радиационные поражения получили 17 человек. Максимальная доза внешнего пролонгированного  $\gamma$ -облучения достигла 6 Гр. Тяжесть болезни усугублялась внутренним облучением инкорпорированного цезия (максимальный вклад внутреннего облучения достигал 15—50% интегральной дозы) и кожными поражениями. Развитие тяжелой стадии сопровождалось тошнотой, рвотой, частым стулом, развитием костно-мозгового синдрома, стоматитом, эзофагитом, фарингитом. Интенсивное комбинированное лечение помогло смягчить течение болезни у пациентов, однако четверо пострадавших все же скончались в результате аплазии костного мозга и инфекционных осложнений.

В настоящее время вклад испытаний ядерного оружия в загрязнение окружающей среды невелик. К 2000 г. ожидаемое превышение дозы облучения населения радиоактивным цезием над естественным фоном (~0,1 сГр/год) составит (на человека): в Северном полушарии 190, Южном — 47; в среднем на земном шаре — 170 мкГр/год.

Сложная ситуация сложилась в регионах радиоактивного загрязнения в результате взрыва на Чернобыльской АЭС. После распада радиоактивного йода, который был критическим нуклидом в начальный период, основным источником внешнего и внутреннего облучения населения стал радиоактивный цезий. Дозы облучения зависят от плотности загрязнения территорий и

<sup>12</sup> Фатеева М.Н., Климов В.С., Понизовская А.И. и др. // Мед. радиология. 1969. № 7. С.14—19.

<sup>14</sup> Кириллов С.А., Вассонов Ю.В. // Там же. 1971. № 11. С.47—51.

<sup>15</sup> Кирушкин В.И., Дощенко В.Н. и др. // Мед. радиология. 1963. № 11. С.33—40.

<sup>16</sup> Селедовкин Г.Д. Докл. на Международном конгрессе по срочной хирургии. Милан, 1987.

эффективности мер защиты. У основной части населения содержание  $^{137}\text{Cs}$  в организме, по данным дозиметрических измерений, находится в пределах тысяч Бк, что вызывает облучение с мощностью дозы в пределах долей единиц сГр/год. Облучение в таких малых дозах не вызывает ни острых, ни хронических поражений, однако в отдаленные сроки могут проявиться онкогенные и наследственные эффекты. При увеличении дозы облучения до 1 сГр, по оценкам Международной комиссии по радиологической защите<sup>17</sup>, количество онкологических заболеваний может составить 730 случаев на 1 млн человек. Это — незначительная величина по сравнению со спонтанным уровнем онкологической заболеваемости (смертность от рака достигает 125 тыс. на 1 млн человек) и наследственной патологии (каждый десятый родившийся ребенок), однако в последние годы число онкозаболеваний увеличилось на 2—3%.

Профилактика, экстренная помощь и лечение радиационных поражений  $^{137}\text{Cs}$ , как и другими радионуклидами, должны проводиться в соответствии со специально разработанными нормативными документами<sup>18</sup>. Однако необходимо учитывать, что радиоцезий интенсивно всасывается из кишечника и легких, и эффективность первой помощи зависит от сроков ее проведения. Макси-

мальный эффект достигается, если неотложная помощь оказывается в первые часы после поступления радиоцезия в организм человека.

Неотложная помощь должна быть направлена на выведение поступившего в организм  $^{137}\text{Cs}$  и включает промывание желудка, назначение сорбентов (сернокислого бария, альгината натрия, полисурмина), рвотных, слабительных, мочегонных средств и дезактивацию кожных покровов. Наиболее эффективное средство для снижения всасывания радиоцезия в кишечнике — специфический сорбент ферроцианид, связывающий радионуклид в неусваиваемую форму. Для ускоренного выведения из организма всосавшегося  $^{137}\text{Cs}$  используют стимуляцию естественных процессов удаления радионуклида, а также комплексобразователи (ДТПА, ЭДТА и др.).

\* \* \*

Любая человеческая деятельность, как известно, связана с определенным риском. В районах радиоактивного загрязнения население подвергается хроническому облучению. Дозы облучения регламентируются соответствующими нормативами, учитывающими медицинские, экономические и социальные аспекты. Они должны быть приемлемы как для общества в целом, так и для каждого человека. Возможный риск последствий облучения не должен превышать риска в других отраслях производства. Сегодня, когда будущее цивилизации невозможно без использования ядерной энергии, задача специалистов — свести этот риск к возможному минимуму.

<sup>17</sup> Рекомендации Международной комиссии по радиологической защите 1990 года. Публикация 60. Ч.1. М., 1994.

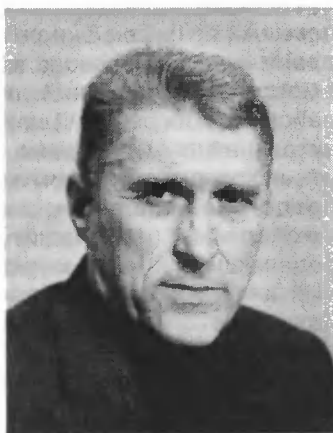
<sup>18</sup> Подробнее см.: Василенко И.Я. Биологическая опасность продуктов ядерного деления // Природа. 1995. № 5. С.78—87.

# Экспериментальное изучение сейсмического режима

С.Д.Виноградов, В.С.Пономарев



*Сергей Дмитриевич Виноградов, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Объединенного института физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН. Область научных интересов — сейсмология, сейсмоакустические методы наблюдений.*



*Виталий Стефанович Пономарев, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник того же института. Занимается проблемами геомеханики, а также сейсмичностью Земли.*

**И**ЗУЧЕНИЕ физики землетрясений предполагает два аспекта — описание развития как отдельного очага, так и совокупности очагов, или сейсмического режима.

Эксперименты, проводившиеся в этой области, в своем подавляющем большинстве ориентированы на изучение процессов в отдельном очаге. Кроме того, они базировались на предположении, что землетрясение происходит в результате смещения бортов уже существующего разрыва.

Модель очага как скачкообразного движения бортов разрыва, взаимодействие которых определяется законами трения, впервые предложили В.Брейс и Дж.Байерли в 1966 г. Само это явление они назвали stick-slip (прерывистое скольжение). Их работы положили начало экспериментальному изучению очага землетрясения. В январском номере журнала «Nature» за прошлый год опубликован обзор, в котором рассмотрено 76 работ по этой тематике. Исследовались зависимости трения от температуры, свойств поверхности, величины нормальных напряжений, скорости движения и др.<sup>1</sup> Полученные закономерности применялись для объяснения особенностей сейсмического режима. В том же номере журнала помещена еще одна статья, в которой разрыв, возбуждающий землетрясения, представлен границей движущихся блоков с прослойкой измельченного материала<sup>2</sup>.

Не отрицая важности подобных исследований, мы все же должны заметить, что сейсмичность как результат разрушения среды (т.е. как результат образования новых разрывов) в них не рассматривается. Если принять, что смещение по бортам уже существующих

© С.Д.Виноградов, В.С.Пономарев

<sup>1</sup> Scholz C.H.// Nature. 1998. V.393. № 1. P.37—42.

<sup>2</sup> Marone C.//Ibid. P.69—72.

разрывов является главной причиной землетрясений, то тут же возникает ряд вопросов. Следует ли считать, что образование сети разрывов, смещение по которым возбуждает сейсмичность, завершилось в геологическом прошлом, а ныне мы наблюдаем только смещение уже по «готовым» разрывам? Если же разрывы продолжают возникать и в настоящем, то что же, их возникновение (в отличие от смещений по разрывам) протекает «бесшумно»? То, что мы знаем о разрушении материалов, свидетельствует как раз об обратном.

Разумно допустить, что в геологической среде происходит как смещение по готовым разрывам, так и образование новых. Но тогда возникает следующий вопрос: существуют ли какие-либо различия между землетрясениями, возбуждаемыми смещением по разрывам, и землетрясениями, происходящими при образовании новых разрывов?

Несмотря на очевидный смысл этих вопросов, однозначных, научно обоснованных ответов на них нет. Между тем экспериментальных работ, посвященных изучению сейсмического режима, немного. Причина этого отчасти в том, что внимание исследователей в первую очередь привлекал очаг большого землетрясения, рассматривавшийся как результат образования единичного «магистрального» разрыва. Отчасти же и в другом. Основным методом изучения сейсмического режима до последнего времени оставалась сейсмостатистика — теоретическое направление, рассматривающее сейсмичность как процесс хаотический, случайный. С точки зрения сейсмостатистического подхода множество разрушение в его сейсмическом отражении — всего лишь своего рода генератор случайных событий, а универсальные особенности поведения множеств случайных событий достаточно хорошо изучены и без этого.

О явлении как о случайном нередко говорят тогда, когда причинные связи, которыми оно управляется, установить сложно. Это в какой-то мере относится и к сейсмичности. Последняя представляет собой результат совмест-

ного влияния целого ряда факторов, арена действия которых — глубокие недра Земли, недоступные для прямого наблюдения.

И все же возможность понять физическую основу сейсмического режима существует. В качестве аналогов естественной сейсмичности могут рассматриваться процессы разрушения горных пород в шахтах и твердых материалов в лабораторных условиях. В выполненной нами серии работ использовался метод акустической эмиссии, основанный на регистрации упругих импульсов, возникающих при образовании трещин или подвижек по уже имеющимся разрывам. По существу изучался своего рода «сейсмический режим» разрушаемых объектов в условиях, поддающихся контролю.

### ЗАКОН ПОВТОРЯЕМОСТИ

Если воспроизвести на экране дисплея карту одного из сейсмоактивных районов, а затем в виде вспышек разной яркости, соответствующей силе землетрясений, показывать последние в той очередности, в какой они следуют в каталоге, зритель увидит довольно хаотическую картину, в которой можно уловить лишь одну закономерность: чем вспышки ярче, тем они реже. Это наблюдение и лежит в основе закона повторяемости землетрясений: в совокупности сейсмических событий чем события значительней, тем они реже. Если построить в логарифмическом масштабе распределение числа землетрясений  $N$  по их энергии  $E$  (или магнитуде  $M$ ), то осредняющий их график изобразится прямой линией с отрицательным наклоном. Закон повторяемости обычно записывается в следующей форме:

$$\lg N = A - \gamma \lg E \text{ — для энергии;}$$

$$\lg N = a - bM \text{ — для магнитуды.}$$

Параметры графика повторяемости — наклон к оси абсцисс ( $\gamma$  и  $b$ ) и уровень ( $A$  и  $a$ ) — относятся к важнейшим количественным характеристикам сейсмического режима. Наклон графика выражает соотношение между числом сильных и



слабых сейсмических событий, или (уже в физической интерпретации) соотношение между числом больших и малых разрывов геологической среды. Уровень графика характеризует сейсмическую активность — суммарную интенсивность сейсмических проявлений на рассматриваемой сейсмоактивной территории. Эти параметры входят в основу метода количественного сейсмического районирования.

Попытки получить график повторяемости теоретически предпринимались многими исследователями. Несмотря на различие исходных посылок, распределение числа разрывов по энергии выводилось из априорных соображений, которые задают постоянную величину угла наклона. Исключение составляют работы К.И.Кузнецовой и Г.С.Подъяпольского<sup>3</sup>, в которых допускалось, что угол наклона может зависеть от свойств среды и условий процесса ее разрушения. Вместе с тем эта зависимость имеет весьма общий характер, получить какое-либо определенное соотношение пока трудно.

То, что распределение наиболее значительных землетрясений земного шара по их величине (магнитуде) подчиняется закону повторяемости, было обнаружено Б.Гутенбергом и К.Рихтером<sup>4</sup> в начале 50-х годов. Вскоре выяснилось, что закон носит универсальный характер и проявляется независимо от масштаба разрушаемых тел — от лабораторных образцов до крупных геологических структур. Это открыло возможность экспериментального моделирования землетрясений и физического объяснения закона повторяемости.

Одно из достоинств лабораторного изучения в том, что экспериментатор, варьируя условия опыта, может установить вклад того или иного фактора в общий процесс. Так, например, изменяя величину гранитных включений в цемен-

тных образцах, можно выяснить, каким образом влияет на разрушение среды степень ее неоднородности. В проведенной серии опытов образцы подвергались одноосному сжатию под прессом. Упругие импульсы, излучаемые образцом, воспринимались приемником, установленным на боковой грани образца. Импульсы затем усиливались и записывались соответствующей аппаратурой<sup>5</sup>.

Опыты показали, что количество упругих импульсов, излучаемых образцом, зависит от размера и фактуры включений. Большое количество их наблюдается у образцов с включениями мелкого и крупного щебня, меньше — с включениями из окатанной гальки, а меньше всего импульсов излучали образцы из чистого цемента.

Какое вероятное физическое содержание за этим кроется? Наиболее благоприятные условия для образования трещины создаются в местах концентрации напряжений. Число импульсов акустической эмиссии связано с общей конфигурацией поля напряжений, модифицированной локальными напряжениями вблизи имеющихся неоднородностей в образце.

У окатанной гальки число мест концентрации напряжений гораздо меньше, чем у битого щебня с острыми углами и изломами. Включения из мелкого щебня создают благоприятные условия для развития небольших трещин, поскольку в этом случае велико число мест концентрации напряжений небольшого объема.

Включения представляют собой и препятствия для роста трещин. При большом количестве мелких включений как бы уменьшается средняя величина «свободного пробега» трещин. В этом случае наклон графика распределения  $N(E)$  увеличивается. Добавка крупного щебня создает благоприятные условия для образования более крупных трещин — возникают места повышенных напряжений, занимающие сравнительно большие объемы. Это приводит к увеличению

<sup>3</sup> Кузнецова К.И. Схема распространения трещин в неоднородной среде и статистическая модель сейсмического режима // Исслед. по физике землетрясений. М., 1976. С.114—127; Подъяпольский Г.С. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1968. № 7. С.16—21.

<sup>4</sup> Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princ. Univ. Press, 1954.

<sup>5</sup> Виноградов С.Д. Акустические наблюдения процессов разрушения горных пород. М., 1964; Он же. Акустический метод в исследованиях по физике землетрясений. М., 1989.

относительного количества крупных трещин и к уменьшению наклона графика.

Влияние прочности изучалось на пробах цемента с крупным (3—5 мм) кварцевым песком. Серии изготовлялись из одного замеса, однако процесс затвердевания и сушки проходил в разных условиях. Поэтому образцы обладали разной прочностью при одинаковом составе и при той же однородности. В результате оказалось, что наклон графиков повторяемости с увеличением прочности материала уменьшается.

Картину разрушения образца при том же одноосном сжатии можно варьировать, изменяя его напряженное состояние. Если образец поместить непосредственно между плитами пресса, он разрушается наклонными X-образно перекрещивающимися трещинами преимущественно сдвигового типа. Но, если между образцом и прессом положить свинцовые прокладки, уменьшающие силы трения на контакте, образец разрушается с образованием трещин отрыва, параллельных его свободным боковым поверхностям.

Разными видами разрушений определялись и неодинаковые величины разрушающей нагрузки. Если без прокладок образцы раскалывались при нагрузке 40—50 МПа, то со свинцовыми прокладками — при 25—30 МПа. При этом менялся и вид упругих импульсов. С прокладками они были более продолжительны, с большим числом колебаний. В целом результаты показывают, что изменение граничных условий нагрузки приводит к изменению вида разрушения и изменению уровня графиков повторяемости. Однако наклон при этом меняется мало. Невелики его изменения и при варьировании в весьма широких пределах скоростей деформации. Заметное увеличение угла наклона обнаруживается только при очень небольших скоростях деформаций. Скорее всего последние могут реализовываться преимущественно в виде вязкого или пластического течения.

К.Шольц поставил опыты, в которых образцы из гранита подвергались осевому сжатию в камере высокого давления.

При этом было установлено, что угол наклона графика повторяемости по мере увеличения всестороннего сжатия также увеличивается<sup>6</sup>.

В целом эксперименты показали, что наклон графиков повторяемости отнюдь не постоянен, как это априорно постулировалось в большинстве работ теоретического плана. Большое число мелких неоднородностей, понижение прочности, малые скорости деформации и рост всестороннего давления заметно увеличивают угол наклона.

### ПОСТРОЕНИЕ ГРАФИКА ПОВТОРЯЕМОСТИ

Для построения графика повторяемости необходимо накопление данных о достаточном большом числе землетрясений. На формирование такой базы данных, определяющей график, имеются различные точки зрения.

Допустим, что в вашем распоряжении имеется множество фишек, величина которых символизирует силу землетрясений, а сами они пронумерованы в порядке появления землетрясений во времени. Ваша задача: разместить фишки на плоскости стола в том порядке, в каком они бы располагались в процессе накопления данных.

Существует несколько вариантов решения этой задачи.

Самая общепринятая схема (ее придерживается большинство сейсмологов, рассматривающих сейсмический процесс как чисто случайный) такая: фишки в коробке хорошенько перемешиваются, высыпаются на стол, затем разравниваются в один слой. Нечто подобное должно происходить и в природе.

Исследователь, изучавший физические особенности очага отдельного землетрясения, примется за дело иначе. Он расположит самые большие фишки на столе произвольно, к каждой такой фишке присоединит собственный отряд, генетически с ней связанный. Отряд представляет собой иерархическое со-

<sup>6</sup> Scholz C.H. // Am. Geophys. Un. Trans. 1967. V.48. P.204.

общество, члены каждой ступени которого представлены в пропорциях, соответствующих графику повторяемости. Порядковый номер главной фишки — самый большой, т.е. все остальные фишки предшествуют ее появлению. Если довести эту схему до логического конца, сейсмичность предстанет как процесс подготовки главных толчков, протекающий в разных частях региона на разных стадиях развития.

Существует еще одна схема, рассматривающая сейсмичность как отражение процесса дробления геологической среды. В соответствии с ней первыми возникают преимущественно самые крупные трещины. Они расчленяют материал на более мелкие части («блоки», «отдельности») и сокращают длину свободного пробега последующих «дочерних» трещин, в свою очередь расчленяющих материал на еще более мелкие части, и т.д. Со временем материал насыщается все большим количеством трещин, длина которых в среднем постепенно уменьшается. Очевидно, что графики повторяемости, отвечающие этой схеме, для разных временных интервалов окажутся разными: в конце опыта они будут беднее сильными событиями по сравнению с его началом.

Какой же схеме следует природа? Эксперимент на этот вопрос прямого ответа не дает: варьируя условия опыта и способы представления данных, можно получить результаты, в большей или меньшей мере удовлетворяющие любой из этих схем.

Действительно, процесс излучения упругих импульсов нагруженным образцом приводит влечение процесса чисто случайного. Чтобы выделить в нем систематическую составляющую, требуется применение специальных методик. Экспериментальный прототип второй схемы положен в основу теории лавинонеустойчивого образования трещин и кинетической теории прочности. Эти теории и их приложения широко освещались как в специальной, так и в научно-популярной литературе<sup>7</sup>. Разрушения в соответствии с третьей схемой — схемой дробления — в разных вариантах

реализованы на плоских двухслойных моделях, разработанных А.Н.Ромашовым. Формирование объемных блочных структур было получено в опытах, поставленных Г.А.Соболевым, Х.О.Асратяном<sup>8</sup>. То, что развитие событий в какой-то мере подчиняется подобному сценарию, подтверждается уменьшением со временем максимальной энергии излучаемых образцом (испытывающим осевое сжатие) упругих импульсов. Эксперимент, таким образом, показывает, какие именно схемы разрушения возможны в принципе, но какую из них изберет натура — слово за ней самой.

Рассмотрим под этим углом зрения шахтную сейсмичность. Массив, в котором ведутся горные работы, вдруг начинает излучать множество упругих импульсов, своего рода шахтных землетрясений, на фоне которых время от времени возникают горные удары — внезапные взрывоподобные толчки. Они могут вызвать разрушение подземных выработок, иногда очень существенное, имеющее масштаб подземных катастроф.

На чрезвычайно удароопасных шахтах Североуральского бокситового рудника установлена система прецизионных сейсмологических наблюдений, позволяющая определять координаты очагов сейсмических импульсов с очень высокой точностью. Ошибка составляет около 25 м. В 80-х годах здесь ежегодно регистрировалось около тысячи событий с энергией от  $10^2$  до  $10^8$  Дж. Их совокупность подчинялась закону повторяемости почти идеально.

Если на вертикальный разрез разрабатываемого месторождения точками нанести положение сейсмических событий, исследователь увидит нечто похожее на продолговатую туманность с компактным ядром и более разреженным ореолом рассеяния. Ее ось симметрии — слегка наклонный пласт руды.

Подавляющее большинство «населения» облака составляют слабые собы-

<sup>7</sup> См., напр.: Мячкин В.И., Костров Б.В., Соболев Г.А., Шамина О.Г. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1974. № 10. С.107—112.

<sup>8</sup> Соболев Г.А., Асратян Х.О. // ДАН СССР. 1990. Т.315. № 2. С.345—348.

тия с энергией  $10^2$ — $10^5$  Дж (их тысячи). Выделив в такой «туманности» самые значительные события с энергией  $10^8$ — $10^9$  Дж (их десятки), мы увидим нечто неожиданное: наиболее значительные события, вместо того, чтобы возникать вперемешку со слабыми преимущественно в самой гуще, т.е. в ядре, там вообще не возникают, а располагаются в периферических частях. Явление было названо эффектом пространственной сепарации сейсмических событий по их энергии, или кратко — эффектом сепарации. Если расположить фишки в соответствии с полученной картиной, то недалеко от выработанных пространств (в ближней зоне) разместятся самые мелкие фишки, а по мере движения в глубь массива (дальнюю зону) их размеры в среднем будут возрастать.

Такое расположение фишек не соответствует ни схеме случайного рассеяния случайных событий, ни схеме их концентрации в зоне будущего магистрального разрыва. Если допустить, что развитие во времени процесса возникновения трещин сочетается с его центробежной экспансией в пространстве, то разрушение в основных чертах соответствует схеме дробления. Очевидно, что график повторяемости для ближней зоны, где породы уже сильно нарушены, должен быть круче, выше по уровню и бедней значительными событиями, чем для дальней зоны, где породы пока более прочны, более монолитны и процесс их разрушения только начался.

Эффект сепарации обнаруживается и при изучении тонкой структуры поля естественной сейсмичности. На детальных картах слабые события образуют устойчивые во времени локальные сгущения — участки концентрации эпицентров. Более сильные события, как и в случае шахтной сейсмичности, тяготеют к периферии участков. Такая картина, в частности, наблюдалась в Гармском районе Таджикистана, на стыке горных сооружений Памира и Тянь-Шаня<sup>9</sup>. В Гималаях, самых высоких горных сооружениях земного шара, где тектоническая активность чрезвычайно высока, особенно сильные землетрясения в исторически

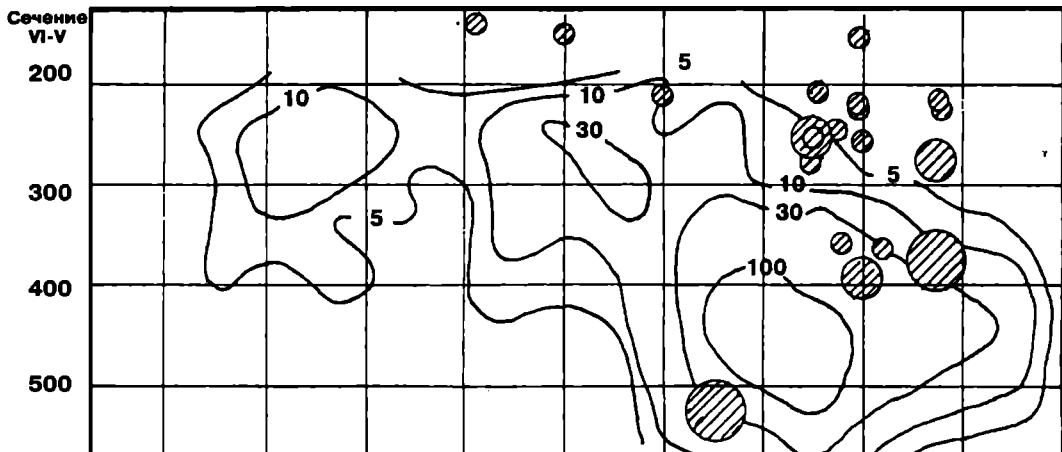
обозримое время не возникали. Они главным образом тяготеют к их периферии, где консолидированные, пока слабо нарушенные массы пород еще только вовлекаются в процесс тектонической переработки.

Все сказанное говорит о том, что графики повторяемости отражают эволюцию структурного состояния разрушаемой среды. Размеры дефектов, которыми насыщается вещество, в среднем со временем уменьшаются, а их количество возрастает, что отражается и на изменении графика повторяемости — от сравнительно пологого для однородного материала и до более крутого для материала, однородность которого нарушена в процессе разрушения.

Казалось бы, если процесс разрушения отснять на киноплёнку, то каждому кадру фильма должен соответствовать свой частный график повторяемости. Такой фильм для разрушения на двухслойной модели был снят. Обработка данных эксперимента дала результат неожиданный: зависимость числа событий от их величины для любого из кадров в отдельности закону повторяемости не подчиняется, а описывается нормальным распределением, характерным для случайного рассеяния событий вокруг среднего. Возвращаясь к фишкам, можно сказать, что при переходе от кадра к кадру количество их в среднем закономерно убывает, но вот набор, соответствующий каждому кадру, распределяется относительно среднего значения случайным образом.

С одной стороны, сейсмический процесс вполне случаен, но, с другой, в его результате происходит изменение среды, которое отражается в направленных и необратимых изменениях величин, характеризующих его средние значения. Закон повторяемости описывает процесс разрушения среды в целом статистически. Если закономерная форма графика выдерживается, это значит, что он

<sup>9</sup> Нерсесов И.Л., Пономарев В.С., Кучай В.К. Особенности пространственного распределения сейсмического фона // Поиски предвестников землетрясений на prognostических полигонах. М., 1974. С.119—131.



*Эффект сепарации. Вертикальный разрез поля сейсмических событий шахты № 15 Североуральского бокситового рудника, на котором регистрировались сейсмические события. Изолиями показано распределение плотности слабых сейсмических событий (число на  $100 \text{ м}^2$ ). Запунктированные кружки — области появления сильных землетрясений (с энергией  $10^6$ — $10^8$  Дж), которые располагаются вне зоны наибольшей концентрации слабых событий. Шаг сетки  $100 \text{ м}$ .*

содержал данные, относящиеся к разным стадиям процесса разрушения.

Такой «эволюционистский» подход на первый взгляд противоречит гипотезе стационарности сейсмического режима, которая исходит из того, что сумма условий, определяющих поведение сейсмичности, с течением времени остается постоянной. Однако противоречие это кажущееся. Картину звездного неба мы воспринимаем как «вечную», «стационарную». Данные же астрономии говорят, что современный облик звездного неба — всего лишь краткое мгновение в процессе непрерывных изменений космоса. В одном масштабе времени сейсмичность в первом приближении может быть описана как процесс случайный, в другом — как процесс направленных необратимых изменений.

### ЗАВИСИМЫЕ СОБЫТИЯ

Если бы возникновение землетрясений представляло чисто случайный процесс, то появление каждого события никак не зависело от других, и между ними не было бы никакой взаимосвязи.

Но в применении к сейсмическому процессу — это жесткая идеализация. Мы знаем случаи, когда зависимость сейсмических событий неоспорима. Таковы, например, афтершоки, следующие за мощными землетрясениями. Можно привести и ряд других примеров, когда землетрясения, как сильные, так и слабые, возникают более или менее компактными пространственно-временными группами.

С физической точки зрения генетическая связь между сейсмическими событиями не только возможна, но и неизбежна. Образование разрыва наряду с излучением упругих волн ведет к перестройке поля напряжений в его окрестностях. Образующееся локальное поле напряжений воздействует на другие разрывы, попадающие в зону его влияния, замедляя или, наоборот, ускоряя их рост. В результате на фоне потока независимых событий должны появляться группы событий зависимых, связанных между собой в пространстве—времени. Это общезначимое представление подтвердил и эксперимент.

Случайные события не образуют монотонной последовательности во времени. Так же неравномерно они распределены и в пространстве, образуя своего рода фиктивные группы событий, на самом деле независимых. Выделение групп взаимосвязанных событий на фоне их чисто случайных скоплений — довольно деликатная математическая операция. Разными авторами предложен целый ряд

критериев такого выделения. Не входя в подробности, отметим лишь, что общий принцип конструирования критериев сводится к определению такого численного состава группы, который при чисто случайном рассеянии имел бы пренебрежимо малую вероятность.

Опыты показали, что по мере увеличения энергии импульсов число событий в группе возрастает<sup>10</sup>. Это в общем понятно: чем больше трещина, тем больше размеры области ее влияния. Вместе с тем интенсивность объединения событий одного энергетического уровня примерно одинакова. Во многих опытах в состав группы входило более половины от общего числа зарегистрированных событий. Все наблюдавшиеся группы можно разделить на два вида: с выдающимся импульсом и рои. В первой из них наблюдается один импульс, энергия которого превышает среднюю энергию других импульсов группы на два-три порядка. Во второй — все импульсы имеют энергии в пределах двух порядков от величины среднего значения. При испытании образцов с разным наполнением было установлено, что во всех случаях преобладающими были рои импульсов.

Подобно тому как сейсмические события с большой энергией возникают реже, чем события с меньшей энергией, группы с большим числом событий встречаются реже. При этом по мере возрастания продолжительности опыта мелких групп становится больше.

Проведенные экспериментальные исследования, общефизические представления о разрушении, а также наблюдения над естественной сейсмичностью формируют точку зрения, основные моменты которой сводятся к следующему.

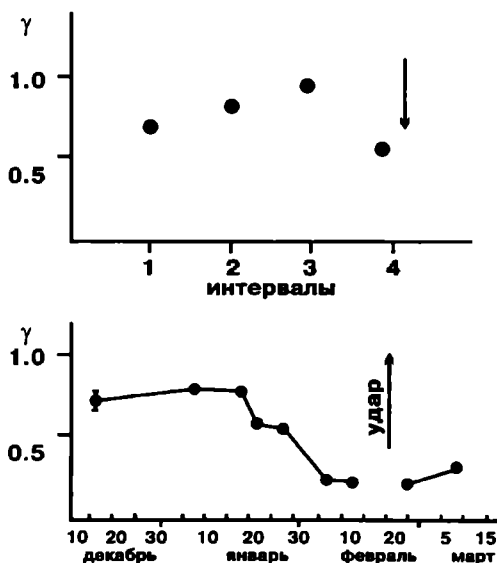
Каждое вновь возникшее землетрясение вносит свой вклад в изменение конфигурации поля напряжений, т.е. оно является следствием действия предыдущих землетрясений. Так что очаг большого землетрясения можно рассматривать как суммарный итог развития процесса разрушения в некоторой окрест-

ности этого очага, а не только как результат разрушения непосредственно в нем. В свою очередь большое землетрясение — это своего рода поле неустойчивости, которое оказывает существенное влияние на последующую сейсмическую жизнь региона, возбуждая как массовое появление афтершоков, так и предопределяя более отдаленные последствия. Оно, например, может спровоцировать целую серию других больших землетрясений. Вся их совокупность может рассматриваться как фактор, влияющий на последующее развитие сейсмического процесса — на его ускорение или замедление, неоднородность проявления в пространстве, своеобразие форм сейсмических проявлений и т.д. В том числе и на то, что среди множества потенциальных очагов больших землетрясений преимущественное развитие получает какой-то один из них. В таком широком смысле вся сейсмичность, несмотря на частный характер ее проявлений, может рассматриваться как система генетически связанных событий, причем график повторяемости — интегральное выражение этой связи.

#### КАНУН РАЗРУШЕНИЯ (ЭКСПЕРИМЕНТ)

Поведение геологической среды в стадии «предразрушения» — физическая основа различных подходов к прогнозу больших землетрясений. Причина такой многоплановости прежде всего в том, что деформационные процессы в этой стадии сказываются не только в специфических изменениях сейсмичности, но и в изменении других геофизических полей. Понятие разрушения применительно к образцам в лабораторных опытах и реальной геологической среде имеет не вполне один и тот же смысл. Говоря о разрушении образцов, имеют в виду завершающую стадию процесса разрушения — образование глобальной трещины, которая нарушает связность образца как единого. Разрушение в геологической среде связывают обычно с появлением достаточно большой, «магистральной» трещины или зоны разрывов,

<sup>10</sup> Пономарев В.С., Ромашов А.Н. Моделирование блоковой структуры земной коры // Природа. 1994. № 5. С. 54—63.



*Изменение угла наклона графика повторяемости  $\gamma$  при подготовке крупного разрушения. Вверху — разрушение образца из гипса и песка, величина получена в четырех интервалах времени опыта. Внизу — изменение перед ударом на руднике «Авня» (Чехословакия). Наименьшая величина  $\gamma$  наблюдается непосредственно перед разрушением.*

соответствующей очагу большого землетрясения.

Рассмотрим данные эксперимента.

Для изучения возможных изменений угла наклона графика повторяемости время опыта делилось на две равные части и построение графика повторяемости проводилось для каждой части отдельно. Мы проводили серии опытов с разными скоростями деформации на образцах гипса с песком, цемента с включениями гальки, а также крупного и мелкого щебня.

Результаты оказались неожиданными. Во всех случаях наблюдалось уменьшение наклона графика во второй половине опыта, тогда как, по логике последовательного уменьшения длины свободного пробега трещин, дело должно было бы обстоять как раз наоборот. Изучение тонкой структуры полученного эффекта показало: если время опыта разделить не на две, а на четыре части, то резкое уменьшение угла наклона наблюдается лишь в последней четверти опыта, непосредственно перед разруше-

нием образца. В первых же трех угол наклона, как это и должно быть, последовательно возрастает. Перед окончательным разрушением механическое поведение образца резко меняется. Что же в нем происходит? Почему длина разрывов, постепенно убывая в процессе опыта, к его завершению вновь растет? Укажем на две вероятные возможности.

Угол наклона может уменьшиться из-за локализации процесса разрушения в узкой зоне, которая как бы намечает трассу будущего разрыва. Причем происходит укрупнение трещин за счет сливания более мелких, образовавшихся на ранних стадиях разрушения.

Другое объяснение. Вначале связность образца обеспечивалась равномерно всем его сечением. Но перед разрушением эти функции принимает на себя самая прочная, пока еще слабо нарушенная часть сечения. Уменьшение угла наклона графика свидетельствует о том, что начался процесс разрушения последней «твердыни», обеспечивающей целостность образца. Очевидно, что к такому же результату должно привести и разрушение прочных перемычек между кластерами ранее образовавшихся трещин.

Рассмотрим картину развития процесса разрушения во времени, представленную появлением единичных импульсов.

Данные, полученные при разрушении образцов горных пород в опытах, которые продолжались от одного до нескольких часов, говорят о том, что число импульсов перед разрушением растет, причем для прочных пород (песчаников, гранитов, андезитов, базальтов) на последние десять процентов времени опыта обычно приходилось около 50—70% всех импульсов.

Опыты на образцах из бетона с крупным и мелким щебнем показали, что картина распределения импульсов сильно зависит от скорости деформации. В общих чертах она такова. При больших скоростях, когда продолжительность «жизни» нагруженного образца составляла десятки секунд, на последние 10% времени приходилось до 50% общего

числа импульсов. При меньших скоростях импульсы распределялись более равномерно, а при большой продолжительности опытов (около двух суток) перед разрушением наблюдалось затишье — полное отсутствие импульсов в течение некоторого времени.

### КАНУН РАЗРУШЕНИЯ (НАТУРА)

Картина естественной сейсмичности предстает наблюдателю как мир непрестанных изменений. На этом хаотическом фоне время от времени возникают образования более или менее стабильные. Одни из них постепенно все более четко прорисовывают устойчивую во времени пространственную структуру сейсмичности, другие, амебообразно изменяясь в очертаниях, как бы «переползают» с одного места на другое... Картина — вполне в духе фантазий Станислава Лема. Но тем не менее известное сходство между тем, что наблюдается в этом изменчивом мире и в лабораторном эксперименте, обнаружить можно.

Вначале обратимся к шахтной сейсмичности. Она по своему масштабу занимает как бы промежуточное положение между излучением импульсов разрушающегося образца и естественной сейсмичностью.

Наблюдения, проводившиеся в свое время на угольных шахтах Кизеловского угольного бассейна и на руднике «Анна» в Чехословакии (см.сноску 5), показали, что перед горными ударами наблюдаются: подъем активности шахтной сейсмичности, сменяющийся затем сейсмическим затишьем, длящимся вплоть до момента горного удара; уменьшение наклона графика повторяемости; рост интенсивности группирования импульсов.

Таким образом, наблюдаются явления, качественно сходные с происходящими в образцах накануне их разрушения.

Подобные черты улавливаются и при естественной сейсмичности. В качестве примеров рассмотрим два эффекта, возникающих перед большими сейсмическими событиями.

Один из них — сейсмические затишья. За несколько месяцев или лет (в

зависимости от величины предстоящего землетрясения) в поле сейсмичности, на фоне ее высокой активности в целом, формируется обширное зияние — зона сейсмического молчания. Характерная особенность ее — резкая убыль землетрясений сравнительно высокой энергии. Одновременно за пределами образующейся зоны наблюдается заметное повышение активности. Главный толчок возникает внутри зоны затишья, не в ее центре, а ближе к краю. Сейсмическое затишье длится вплоть до момента главного события — как и в случае шахтной сейсмичности<sup>11</sup>.

Достаточно четко выраженными затишьями предваряется большинство больших землетрясений. Однако их эффективность как предвестников землетрясений снижает то обстоятельство, что в процессе своего формирования затишья трудно отличить от чисто случайных флуктуаций сейсмичности. Бывает, что к тому времени, когда появляется возможность судить о неслучайном характере этих образований более или менее уверенно, нередко происходит уже и само главное событие.

Прогностическую эффективность затиший существенно повышает другое явление — предвестниковые рои. В окрестностях очаговых зон больших землетрясений почти всегда возникает всплеск активности слабых землетрясений, по своей интенсивности далеко превосходящие те, которые в доступный обзорный период времени когда-либо возникали на той же площади<sup>12</sup>. Они тем более заметны, поскольку число группирующихся событий в области очага большого землетрясения перед его возникновением относительно их средней нормы заметно уменьшается<sup>13</sup>.

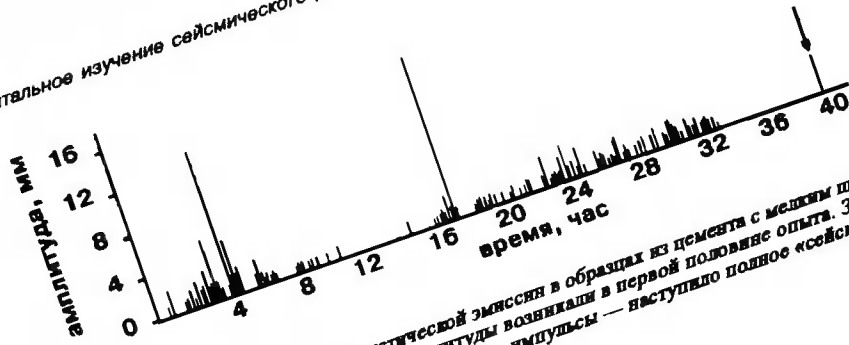
<sup>11</sup> Нерсесов И.Л., Пономарев В.С., Тейтельбаум Ю.М. Эффект сейсмического затишья при больших землетрясениях // Исслед. по физике землетрясений. М., 1976. С.149—168; Михайлова Р.С. // Изв.АН СССР. Физика Земли. 1980. № 10. С.12—22.

<sup>12</sup> Нерсесов И.Л., Тейтельбаум Ю.М., Пономарев В.С. // ДАН СССР. 1979. Т.249. № 6. С.1335—1338.

<sup>13</sup> Васильев В.Ю. Исследования особенностей группирования землетрясений. Автореферат канд. дис. Институт физики Земли РАН. М., 1994.

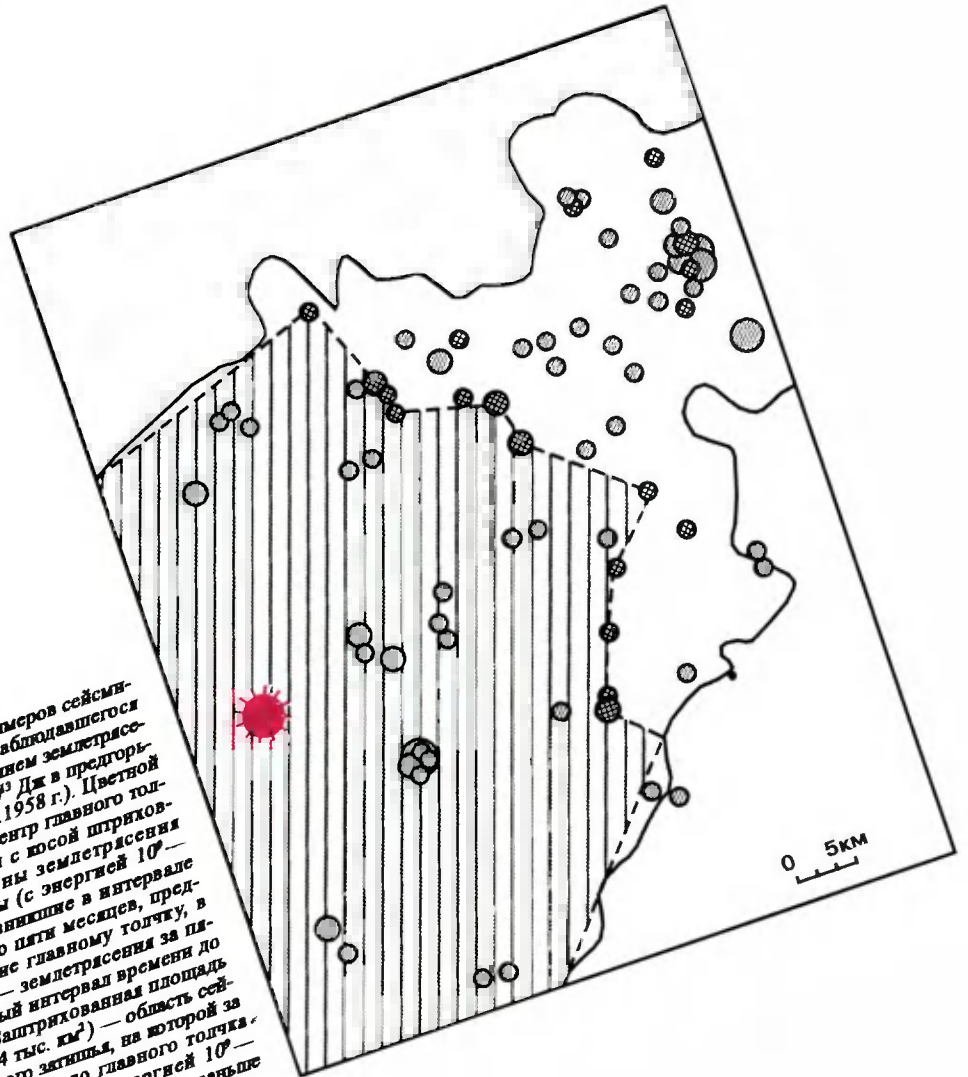


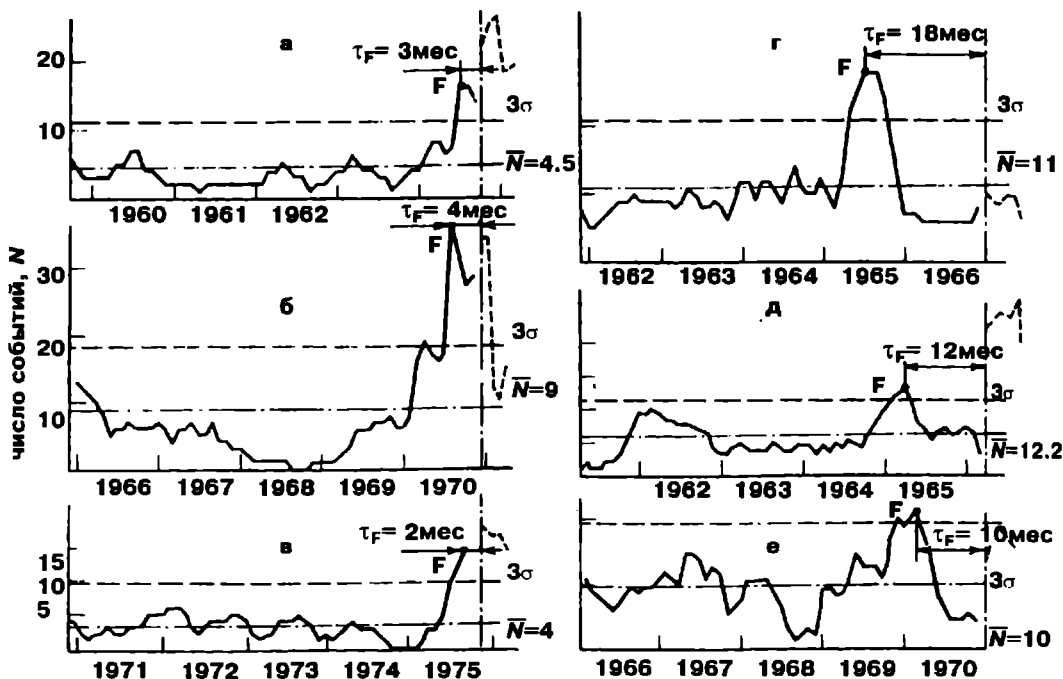
Экспериментальное изучение сейсмического режима



Распределение во времени импульсов акустической эмиссии в образцах из цемента с мелким щебнем в условиях постоянной нагрузки. Импульсы большой амплитуды возникали в первой половине опыта. За несколько часов до полного разрушения перестали возникать и слабые импульсы — наступило полное «сейсмическое затишье».

Один из первых примеров сейсмического затишья, наблюдавшегося перед возникновением землетрясения с энергией  $10^{12}$  Дж в предгорьях Памира (7.01.1958 г.). Цветовой кружок — эпицентр главного толчка. Кружками с энергией  $10^8$  — средней силы (с энергией  $10^6$  —  $10^{12}$  Дж), возникшие в интервале от десяти до пяти месяцев, предшествующие главному толчку, в клеточку — землетрясения в ежемесячный интервал времени до толчка. Запунктированная площадь (свыше 4 тыс. км<sup>2</sup>) — область сейсмического затишья, на которой за пять месяцев до главного толчка землетрясения с энергией  $10^8$  —  $10^{12}$  Дж не возникали, хотя раньше они здесь были обычны.





*Предвестниковые рои. Временные ряды числа землетрясений с энергией  $10^7 - 10^8$  Дж в шестимесячном интервале. Этот интервал перемещается по оси времени с шагом два месяца. Подсчитывались события, возникшие за последние пять лет перед главным толчком в близочаговых областях землетрясений с энергией  $10^{12} - 10^{13}$  Дж.  $\tau_F$  — время до главного толчка, за которое появляются всплески на кривой (предвестниковый рой). Для удобства сопоставления моменты главных толчков на рисунке совмещены (вертикальная штрихпунктирная линия). Горизонтальная штрихпунктирная линия — среднее значение числа землетрясений за весь рассматриваемый отрезок времени; штриховая — уровень ( $3\sigma$ ), отклонение за пределы которого считается значимым; а, б, в — землетрясения на юге региона с мощным слоем осадков; г, д, е — землетрясения в северной области, сложенной более прочными гранитоидами.*

Не являются ли предвестниковые рои теми землетрясениями, которые как бы намечают трассу будущего магистрального разрыва? Возможность этого изучалась специально. Вывод таков: в некоторых случаях нельзя утверждать ничего определенного, однако в большинстве случаев локальные скопления землетрясений, составляющих предвестниковые рои, возникают вблизи очаговой зоны, но не в ней самой. Причем они приурочены к объемам сильно разупрочненных пород, соседствующих с менее нарушенными, в которых очаг главного толчка и возникает.

\* \* \*

Экспериментальные исследования показывают, что взгляд на сейсмичность как на процесс чисто случайный — слишком упрощен. Существенную роль в нем играют вполне определенные причинно-следственные связи.

Нам представляется, что настало время как следует разобраться, с чем же мы все-таки имеем дело в случае сейсмичности, т.е. создать физическую модель сейсмического режима, дающую представление о физике совокупностей очагов землетрясений. Ее создание, на

наш взгляд, — самый короткий путь к решению и проблемы прогноза землетрясений, и ряда других важнейших практических задач, стоящих перед сейсмологами.

Роль эксперимента в становлении физической модели явления или процесса — решающая. Касаясь соотношения

теории и эксперимента, Петр Леонидович Капица в лекциях, читанных студентам физтеха, перефразировал слова одной американки, которая сказала, что любовь — это хорошо, но золотой браслет остается навсегда. «Теория — это хорошо, но хороший эксперимент остается навсегда».

## ОБЪЯВЛЕНИЕ

---

### КОНКУРС НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ СТАТЕЙ среди, держателей грантов РФФИ

1. Российский фонд фундаментальных исследований объявляет конкурс научно-популярных статей по результатам исследований, поддержанных грантами РФФИ. Объем статьи: до 0.5 авт. листа (12 машинописных страниц, 20 Кб тестового файла), до 8 иллюстраций. Среди аворов статьи должен быть руководитель гранта. Кроме рукописи представляются стандартные формы РФФИ 1, 2, а также дискета с файлами form1.txt, form2.txt и файлом статьи в текстовом или винвордовском формате. Если иллюстрации выполнены в компьютерном виде, они также должны быть приведены на дискете (формат произволен).

В статье должен содержаться краткий обзор состояния области науки к моменту начала исследований по гранту, четко очерчены цели исследований и наглядно представлены их результаты. Статья должна быть доступна читателям с университетским образованием.

На конкурс могут быть представлены оригинальные работы или статьи, опубликованные в научно-популярных журналах в 1998, 1999 гг.

2. Будет присуждено 42 премии по 10000 рублей.

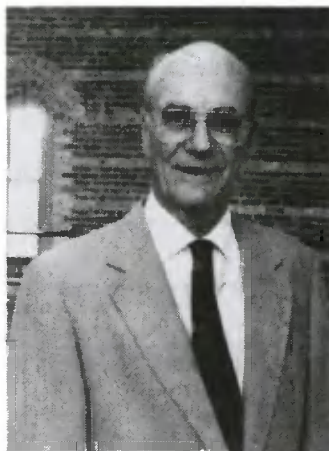
3. Премированные статьи после редактирования будут изданы в виде сборника.

4. Оценка работ проводится экспертными советами РФФИ совместно с представителями ведущих научно-популярных журналов.

5. Срок представления заявок до 15 сентября 1999 г. включительно. Объявление результатов — в декабре 1999 г.

# Последний из могикан: Отто Людвигович Струве

Д. Остерброк, А. Гурштейн



*Доналд Остерброк, почетный профессор астрономии и астрофизики Калифорнийского университета (Санта-Круз), в котором преподает с 1973 г. Ученик Отто Струве. В 1973—1981 гг. был директором Ликской обсерватории, президентом американского астрономического общества. Член Национальной академии наук США, Американской академии искусств и наук, Американского философского общества. Автор десяти книг. В 1996 г. его именем назван вновь открытый астероид.*



*Александр Аронович Гурштейн, доктор физико-математических наук, астроном и историк науки, сотрудник Института истории естествознания и техники РАН. Временно преподает в Меза-Стейт-колледже (Колорадо, США). Основные работы последних лет относятся к истории древнейшей астрономии. Ответственный редактор историко-астрономического издания «На рубежах познания Вселенной» и постоянный автор «Природы»; с 1994 по 1998 г. — заместитель ее главного редактора. Автор нескольких научно-популярных книг.*

**И**МЯ астрофизика Отто Людвиговича Струве — «американского» Струве (в отличие от череды его славных российских предков из всемирно известной астрономической династии: прадедушки, дедушки, отца и дяди) впервые появилось на обложке книги, опубликованной на родине после его смерти, под занавес хрущевской оттепели.

В 1968 г. издательство «Мир», где в ту пору активно переводили иностранную научную литературу, упраздненная ныне астрономическая редакция выпустила в свет обобщающую монографию Отто Струве и Вельты Зеберга «Астрономия XX века». Русским читателям книгу представлял историк астрономии П.Г.Куликовский, снабдивший перевод развернутым и теплым предисловием; он лично знал Струве и находился с ним в переписке.

Старший из двух авторов, Отто Струве, без обиняков характеризовался в предисловии как «выдающийся ученый и организатор». В духе времени, конечно, специально оговаривалось, что Струве с большой симпатией относился «к советским астрономам, работами которых он очень интересовался». Несмотря на противостояние сверхдержав в эпоху холодной войны, на посту президента Международного астрономического союза (МАС) он отличался корректностью и лояльностью: «Представители советской астрономии ценили внимание и объективность, которые О.Струве проявлял к советским предложениям, будучи на этом посту». Он не боялся осуждения за широкое научное сотрудничество с советскими астрономами.

Сказанное, однако, не мешало Струве — жадно путешествовавшему с научными целями по всему свету — тактично, но твердо уклоняться от всех самых плавших ему в руки возможностей посетить СССР. Вынужденный покинуть родину, ни разу в жизни он не ступил более на землю отцов, даже после смерти Сталина, даже ради участия в очередном съезде Международного астрономического союза в 1958 г. в Москве.

Подобно Стравинскому в музыке, Сикорскому в авиации или Гамову в физике, Отто Струве после второй мировой войны безоговорочно входил в круг неформальных международных лидеров в астрономии. Более того, внимательный читатель уже, вероятно, отметил про себя, что это лидерство было даже как бы формализовано: в 1952 г. «американский» Струве был избран президентом Международного астрономического союза. Это вовсе не банальный и далеко не типичный факт. Иностранец по рождению и по исходному образованию, появившийся в США лишь в возрасте 24 лет, окруженный плеядой выдающихся астрономов, родившихся и выросших в США, Струве долгое время представлял эту страну на высшем посту столь авторитетного международного форума.

Как же случилось, что носитель громкого российского астрономического имени и духовный наследник основателя



Отто Струве (справа) и Б.В.Кухаркин. Дублин, 1956 г.

и первого директора «астрономической столицы мира», Пулковской обсерватории, добился успехов и всемирного признания не на родине, а за ее пределами? Ответ на этот вопрос таится в двух источниках: в биографии героя нашего повествования и в социальном контексте развития науки в США. Ни для кого не секрет, что в форпосте современной астрофизики — в США — существовали благоприятные условия для развития многих могучих талантов, причем не только из стран Европы, но и из Азии.

## СУДЬБА ДИНАСТИИ

Итак, обстоятельства рождения ребенка с традиционным для семьи Струве именем Отто не предвещали поначалу ничего худого. Его прадедушка Фридрих Георг Вильгельм (сын Якоба и потому в России — Василий Яковлевич) Струве (1793—1864), родом из Альтоны близ Гамбурга, воспитанник Дерптского университета, почти до самой смерти оста-

вался директором созданной им Пулковской обсерватории. В 16 лет, спасаясь от мобилизации в наполеоновскую армию, он бежал из Германии в Россию и подобно многим обрусевшим немцам считал ее подлинной родиной. Он был возведен в ранг действительного статского советника и тем самым приобрел права потомственного российского дворянина, переходящие к детям. Наряду с Фридрихом Вильгельмом Бесселем (1784—1846) Струве-старший по праву заслужил честь именоваться в энциклопедиях наиболее выдающимся астрономом девятнадцатого столетия.

За два года до смерти Струве-отца пост директора Пулковской обсерватории отошел к одному из его многочисленных сыновей, Отто Вильгельму (Оттону Васильевичу) Струве (1819—1905). Директорство второго Струве продолжалось 27 лет и — хотя и сопровождалось кое-какими неурядицами — ознаменовалось строительством в Пулкове в 1885 г. крупнейшего в то время телескопа-рефрактора с объективом 30 дюймов (76 см) в поперечнике. Этот объектив, героически спасенный при разрушении Пулкова во время Отечественной войны, был заказан и выполнен в США.

Два сына второго Струве пошли по стопам отца и тоже стали астрономами. Карл Германн (Герман Оттович) Струве (1854—1920) поначалу работал в Пулкове, однако в 1895 г. принял лестное предложение занять пост директора Кенигсбергской обсерватории, в которой до него в начале века работал сам великий Бессель. В дальнейшем, с 1904 г. и до своей смерти, Карл Германн Струве возглавлял столичную Берлин-Бабельсбергскую обсерваторию.

Младше Карла Германна на четыре года, Густав Вильгельм Людвиг (Людвиг Оттович) Струве (1858—1920) тоже начинал в Пулкове, но после стажировок во многих известных европейских обсерваториях стал профессором Харьковского университета и директором его астрономической обсерватории. В этом поколении подрастающие Струве учились преимущественно на русском языке и с дет-

ства свободно разговаривали и по-немецки, и по-русски.

«Американский» Струве, сын Людвиг Оттовича, появился на свет как раз после переезда семьи в Харьков, 12 августа 1897 г. В это время его дедушка уже ушел в отставку с поста директора Пулковской обсерватории, но отец и дядя были действующими и авторитетными астрономами.

Юный Отто до 12 лет учился дома, потом — в гимназии. Он получил добротное общее образование, говорил на нескольких европейских языках, за исключением английского, однако по части астрономии это образование было старомодным и потому сильно хромало. Его отец по семейной традиции интересовался главным образом астрометрией (точными позиционными измерениями) и изучением двойных звезд. Это был передний край астрономии XIX, но отнюдь не XX в. Запас знаний по современной физике и астрофизике, приобретенный молодым Отто Струве в Харькове, оказался скудным.

В 17 лет Отто с отличием окончил гимназию и поступил в Харьковский университет. Между тем радостное для него событие было омрачено началом первой мировой войны. И все пошло-поехало совсем не так, как прочило ему рождение в состоятельной и знаменитой семье.

Уже будучи студентом, он счел себя не вправе уклоняться от воинской службы и, оставив до поры до времени астрономию и математику, в возрасте 19 лет, незадолго перед революцией, оказался в Петроградском артиллерийском училище. Еще через год он был направлен в действующую армию на Турецкий фронт и вернулся в Харьков лишь в 1918 г., после подписания печально знаменитого Брест-Литовского мира. Тем временем, как хорошо известно, страна втянулась в пучину кровавой междоусобицы.

Артиллерийский офицер, Отто воевал на стороне белых, получил боевое ранение, тяжело болел и вместе с отступающей Белой армией был эвакуирован в Крым. В конечном счете, после штурма

Перекопа и поражения Белой армии в Крыму, он оказался в Турции, без гроша в кармане.

Жить Отто было не на что, и положение выглядело безысходным. Любимый отец, отрешенный в годы революции от работы, умер в Харькове от сердечного удара. Родной брат, подобно Отто сражавшийся в рядах белых, умер от туберкулеза, осложненного недоеданием. Русские офицеры в Турции распродавали последние носильные вещи, перебивались случайными подачками, каждый был сам за себя и спасался как мог. Трудно себе представить, чтобы в последующие годы личный опыт Отто Струве давал ему основания идеализировать житье-бытье в советской России под большевиками, где один за другим трагически погибали его родные, знакомые и друзья, включая исчезнувшего в волнах Большого террора другого харьковчанина, директора Пулковской обсерватории Бориса Петровича Герасимовича (1889—1937).

Вряд ли в бессонные ночи Струве мучило жгучее желание вернуться в Харьков, и его упорное нежелание нанести визит в СССР не требует сложных психологических изысков. Впрочем, он старался никогда не давать воли своим эмоциям: ни положительным, ни отрицательным.

## В ПОИСКАХ СЧАСТЬЯ

Отто Струве не сгинул в неизвестности благодаря громкому научному имени семьи и нескончаемым хлопотам его заботливых родственников в Германии. О пристанище в самой Германии не приходилось и думать. Послевоенная Веймарская республика никак не могла предоставить условий для выживания осиротевшему харьковскому студенту. Однако тетушка Ева изыскала возможность обратиться к профессору Паулю Гутнику (1879—1947), преемнику скончавшегося Карла Германна Струве на посту директора Берлин-Бабельсбергской обсерватории. Тетушка умолила нового директора принять участие в судьбе юного Отто, племянника Карла Германна. О важнос-

ти родственных уз не мешало бы помнить и многим нашим современникам.

Профессор Гутник не счел для себя зазорным обратиться с письмом в США к своему знакомому, директору Йеркской обсерватории Эдвину Фросту (1866—1935). Обсерватория принадлежала известному учебному заведению — Чикагскому университету, но в те годы отнюдь не могла похвастаться яркими научными результатами.

Родословная Йеркской обсерватории восходит к осени 1892 г., когда два джентльмена бочком вошли в кабинет мистера Чарльза Т.Йеркса по прозвищу Будлер (Хапуга), воротилы трамвайного и железнодорожного бизнеса в крупнейших городах англоговорящего мира. Этот колоритный мультимиллионер был прототипом трилогии Теодора Драйзера «Финансист», «Титан» и «Стоик». Незадолго до описываемых событий он женился на молоденькой красавице и преуспевал в прекрасном расположении духа.

Посетителями Йеркса в тот день были президент только что организованного во славу города Чикаго университета и совсем молоденький университетский преподаватель астрофизики Джордж Эллери Хейл (1868—1938), в будущем мировое астрофизическое светило и отец-основатель Международного астрономического союза, первого в современной истории научного органа такого рода. Для Хейла визит к Йерксу стал, так сказать, пробой пера, первым опытом среди его последующих головокружительных подвигов по части добывания денег для постройки крупнейших телескопов.

Часовая беседа с Йерксом увенчалась триумфом. Мультимиллионер-молодожен был предрасположен владеть всем самым что ни на есть громадным и лучшим в мире. История, конечно, не сохранила дословных выражений, обращенных к ученым просителям, но, вероятнее всего, он буркнул что-то вроде: «Валяйте. Пусть все сдохнет от зависти к Чикаго. Счета шлите мне».

После того как две трети Чикаго выгорело в пламени великого пожара 1871 г., город стремительно рос и наби-

рал силу. Далеко не случайно он удостоился чести принимать у себя Всемирную выставку 1933 г. «Век Прогресса». Сегодня это третий по своему промышленному, научному и культурному потенциалу город США после Нью-Йорка и Лос-Анджелеса.

Итак, деньги на телескоп нашлись. Двадцать гектаров земли под обсерваторию подарил университету богатый землевладелец в живописном лесу на холме у чистого, глубокого озера, где было несколько вилл зажиточных чикагцев. Участок находился в 120 км к северу от Чикаго, уже за границей штата Иллинойс, т.е. на самом юге соседнего штата Висконсин. Именовалось курортное местечко Уильямс-Бей.

Всего через пять лет астрономы получили из рук Йеркса ключи от 40-дюймового (102 см) линзового телескопа, до сих пор самого крупного рефрактора мира, последнего из динозавров закатившей эпохи линзовых инструментов. Его высококачественный объектив шлифовали в той же самой оптической мастерской семьи Кларк в Бостоне, где по заказу О.В.Струве изготавливался объектив для Пулковской обсерватории. Беда заключалась лишь в том, что климат на Среднем Западе США в районе Великих Озер, где расположен Чикаго, никак не мог порадовать астронома-наблюдателя. Там часто ветрено и облачно.

Заметим попутно, что одновременно с созданием специализированной астрофизической обсерватории предусмотрительный Хейл добился также учреждения «Астрофизического журнала», за выпуск которого взялось издательство Чикагского университета. По этой причине директора Йеркской обсерватории более полувека становились по должности и редакторами этого журнала.

Хейл покинул Чикаго ради новых крупных телескопов на горных уступах солнечной Калифорнии. Йеркская обсерватория пришла в упадок. Ее справедливо было окрестить научным захолустьем в тени двух преуспевающих и конкурирующих между собой астрофизических гигантов: сетей астрономических учрежде-

ний на Западном и Восточном побережьях США.

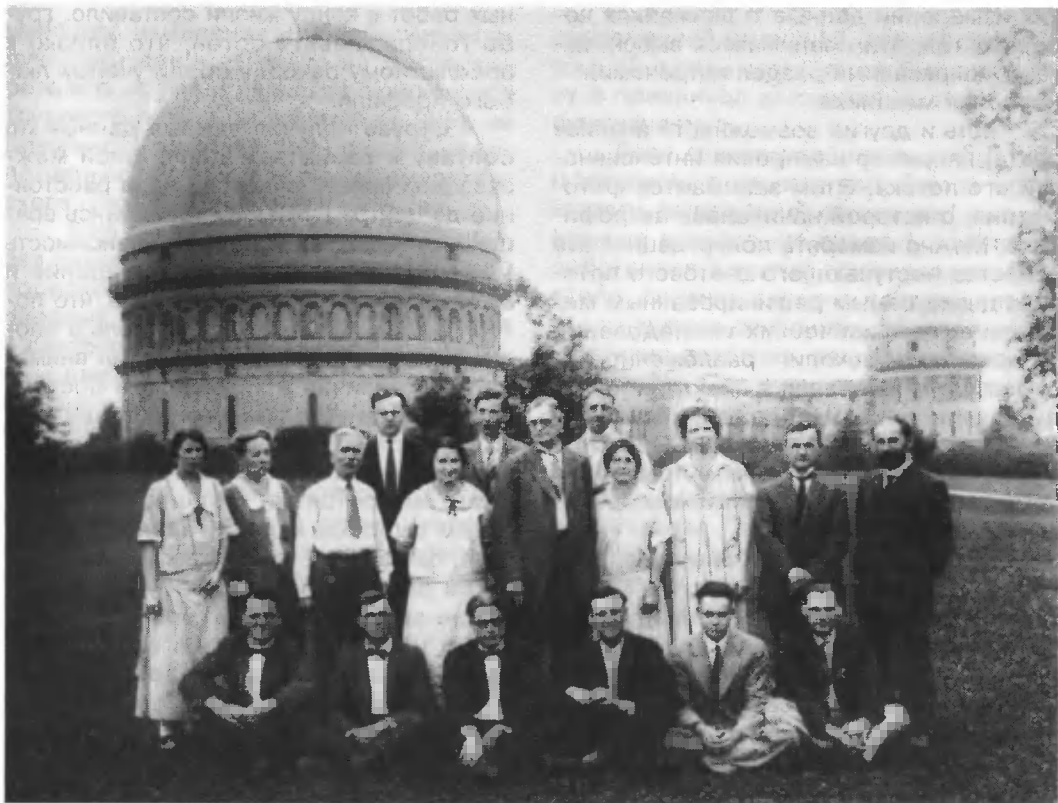
На Восточном (Атлантическом) побережье работали такие мировые знаменитости, как Генри Норрис Рассел (1877—1957) в Принстонском университете и Харлоу Шепли (1885—1972) в Гарвардском, а также ряд их учеников, начинающийся с Цецилии Пейн (1900—1979) и Доналда Мензела (1901—1976). Мы стараемся упоминать здесь лишь научные учреждения и астрономов, которые могут быть в той или иной степени известны российским читателям.

Важными астрономическими центрами традиционного стиля на Атлантическом побережье были также Йельский университет и Морская обсерватория США в Вашингтоне.

На Западном (Тихоокеанском) побережье в обсерватории Маунт-Вилсон был установлен крупнейший в то время в мире 100-дюймовый (два с половиной метра) телескоп-рефлектор и работали такие выдающиеся астрофизики, как Хейл и Эдвин Поуэлл Хаббл (1889—1953), учившийся, кстати сказать, именно в Чикагском университете. Еще одним важным астрономическим центром Западного побережья была Ликская обсерватория на горе Гамильтон близ Сан-Франциско. Запланированное на Западе введение в строй 200-дюймового (пятиметрового) рефлектора на горе Паломар в окрестностях Лос-Анджелеса задержалось до 1948 г. из-за великой депрессии и второй мировой войны.

Между тем второй по счету директор не блиставшей великими научными достижениями Йеркской обсерватории отличался отзывчивостью и настойчивостью, столь необходимыми в деликатном деле, которым ему предстояло заняться. Он приберег для Отто Струве скромную вакансию ассистента по звездной спектроскопии с окладом 75 долл. в месяц и принял через американские благотворительные организации хлопотать о въездной визе. Как это напоминает ситуации, сплошь и рядом возникающие в судьбах ученых после распада Советского Союза.





*Группа сотрудников Йеркской обсерватории в 1925 г. Молодой Отто Струве стоит в последнем ряду, крайний слева. Ниже, вторая слева, — его мать Елизавета Струве, пятый — директор обсерватории Эдвин Фрост. Среди сидящих четвертый слева — Н.Т.Бобровников. Этот снимок, как и снимки, помещенные на с. 100 и 101, публикуются с любезного разрешения Йеркской обсерватории. Фотография безвозмездно предоставлена Ричардом Драйзером.*

В итоге настойчивых усилий Фроста американская виза была наконец-то получена, самые дешевые билеты приобретены, и на исходе августа 1921 г. Отто отбыл в месячное океанское плавание к берегам Нового Света. Оборванный, недоучившийся харьковский студент, без средств к существованию и без необходимого знания английского языка. Никакого диплома у него не было. Ему предстояло заниматься звездной спектроскопией, о которой он мало что знал. Ничто в его облике не напоминало гордого Д'Артаньяна, в поисках счастья отпра-

вившегося из провинции на покорение Парижа.

#### НАУЧНАЯ КАРЬЕРА

Напомним для непосвященных, чем занимается астрономия. Ее основа — исследование поступающего из безбрежных просторов Вселенной электромагнитного излучения. Ныне мы в силах анализировать излучение в различных диапазонах спектра, но прежде астрономы были ограничены лишь видимым светом. Можно было измерять положение на небе источников света — этот древнейший раздел астрономии именуется позиционной астрономией, или астрометрией. Астрометрия предоставляет в руки геофизиков некоторые данные о динамике Земли как небесного тела. Она же обеспечивает измерения времени.

Можно теоретически интерпретировать получаемые путем астрометричес-

ких измерений данные о движениях небесных тел; этим занимается высококоматематизированный раздел астрономии — небесная механика.

Есть и другие возможности анализа света, например измерения интенсивности его потока. Этим занимается фотофизика. Можно измерять поляризационные свойства поступающего светового потока. Однако самым рафинированным методом астрофизических исследований служит спектроскопия: разложение поступающего излучения в спектр с последующим анализом положения и интенсивности спектральных линий. Образное выражение гласит, что спектры — это «отпечатки пальцев» исследуемых небесных объектов.

Качество изучаемых спектров, особенно для слабых объектов, напрямую зависит от интенсивности исследуемого светового потока. Объектив телескопа — его глаз. Чем больше объектив, тем больше он собирает света и тем богаче результаты спектрального анализа. В последующем они ведут к более богатым теоретическим обобщениям.

Первый директор Пулковской обсерватории В.Я.Струве преуспевал в астрометрии, а термина «астрофизика» тогда еще и не существовало. Его прямой потомок в четвертом поколении начал свою карьеру как астрофизик-спектроскопист. В этой области предстояло накопить данные о спектрах обычных, рядовых небесных объектов и объектов, чем-либо резко выделяющихся, пекулярных. Интерпретация этих данных открывала возможность судить о путях рождения, жизни и смерти звезд и галактик, их особенностях, о количестве и свойствах межпланетного вещества. Эти данные служили питательной средой космологии, по преимуществу теоретического раздела астрономии, изучающего происхождение и развитие Вселенной как единого целого.

Спектроскопия в действительности была передним краем астрономии, и, можно сказать, не было здесь такой актуальной проблемы, которой не успел бы в своих публикациях коснуться вездесущий Струве. Общее число его печат-

ных работ к концу жизни составило, грубо говоря, девять сотен, что близко к абсолютному рекорду среди ученых любого профиля.

Струве получил важные данные по составу и свойствам диффузной межзвездной среды, заново оценив расстояние до центра Галактики. Занимаясь вращением звезд, он установил зависимость между скоростью осевого вращения и массой звезды, обосновав тезис, что потеря массы играет ведущую роль в эволюции звезд. Он первым обратил внимание на различие в химическом составе звезд как другого важного эволюционного фактора. Он открыл, что быстро вращающиеся звезды находятся в нестабильном состоянии и эволюционируют путем выброса кольца газового вещества, сходного с оболочками Новых, или путем раздвоения. Он обнаружил расширение верхних слоев атмосфер у ряда звезд и турбулентность в атмосферах звезд-сверхгигантов, исследовал влияние электромагнитных полей, дал теорию звездных атмосфер.

Круг его тематики очень широк, но в глазах формалиста многие научные прорывы были совершены как бы не им самим, а его многочисленными учениками и последователями. Убеждаясь в перспективности новой темы, Струве тотчас передавал ее детальную разработку другим, а сам шел вперед. На протяжении всей жизни оставаясь генератором новых идей, в особенности в области наблюдательных средств, он щедро делился ими со своими сподвижниками.

Что, кроме таланта, громкой фамилии, счастливого стечения обстоятельств, в целом, как правило, достойного и справедливого отношения американцев к эмигрантам, обеспечило оглушительный успех Отто Струве в его новой заморской жизни? Среди многих других причин в первую очередь следует назвать скромность и его удивительную работоспособность, фамильную черту, по-видимому, генетически унаследованную им от усидчивых немецких предков. Не фигурально, а буквально Струве работал и ночью, и днем. Ночи он проводил, не смыкая глаз, у телескопов, днем

выполнял измерения и обрабатывал полученные данные. Ничто не могло выбить его из раз и навсегда заведенного трудового ритма: ни женитьба (1925), ни довольно частые научные поездки, ни успокоенность после получения американского гражданства (1927).

Еще до женитьбы Струве форсировал завершение диссертации «Изучение короткопериодических спектрально-двойных звезд», с блеском защитив ее 8 декабря 1923 г. Так он стал полноценным американским Ph.D. — «доктором философии». Его зарплата к этому времени составляет уже приличную сумму — 1800 долл. в год, т.е. вдвое больше той, с которой он начинал трудовой путь в Америке. Очень скоро в связи с успешной защитой диссертации она увеличится еще на треть, достигнув отметки 2400 долл. в год.

## ЛИДЕР

Что думают о нем в это время в американских астрономических кругах? Молодой русский справился с трудностями английского языка. Всю жизнь он будет говорить с легким акцентом, но его многочисленные публичные выступления не вызывают у слушателей напряжения. Он семимильными шагами наверстывает упущенное ранее в понимании проблем современной физики и астрофизики, пользуется каждым удобным случаем, чтобы пополнить свои знания в современной астрономии.

Но все это отнюдь даже не главное. Как астроном-наблюдатель в получении свежих данных молодой русский намного впереди всех других американских астрономов, молодых и старых. Как ученый он обладает завидной способностью ухватывать и мгновенно распознавать значение новых научных идей, быстро отыскивать и использовать уже существующие наблюдательные данные, удачно добавляя к ним свои собственные, молниеносно выполнять, хотя и грубые, но вполне адекватные количественные оценки и, наконец, без проволочек направлять свои выводы в печать. Вы, конечно, узнали в этом описании стиль

современной успешной научной работы, но в 20-е годы такой стиль был в новинку и привлекал внимание высокой эффективностью.

Если девизом великого математика и астронома прошлого века Гаусса могло служить выражение «*pauca sed matura*» («лучше меньше, но зрело»), то Струве действовал в прямо противоположном стиле. Он многократно возвращался к своим прежде опубликованным выводам, неустанно дополнял, расширял и корректировал их. При этом самое существенное заключалось в том, что его первоначально опубликованные выводы всегда на поверку оказывались не скороспелыми, а глубоко продуманными и совершенно правильными. Постоянных уточнений требовали лишь окончательные количественные оценки и некоторые детали.

Штрих к портрету труженика Отто, характеризующий стиль его напряженной работы. Многие часы он проводил за окуляром микроскопа, измеряя интенсивность и ширину линий звездных спектров. В целях экономии времени он научился одним глазом смотреть в окуляр, в то время как другой глаз одновременно фиксировал отсчеты на измерительной шкале. Неожиданным следствием такой постоянной тренировки явилось то, что в обыденной жизни глаза Струве порой смотрели слегка в разные стороны, что сплошь да рядом придавало его лицу очень странное выражение.

Острослов И.С.Шкловский заметил как-то, что ученых можно оценивать так же, как и футбольных форвардов: по числу забитых голов. Он говорил это применительно к другому русскому американцу — Г.А.Гамову (1904—1968), который после драматического бегства в Америку действительно лично забил несколько блестящих «голов», включая развитие теории Большого взрыва. В целом суждение Шкловского остроумное, но не очень-то точное. В футбольной команде играют не только нападающие, но и защитники, и вратарь, голов не забивающие. Выше всех же среди футболистов тренеры ценят игроков думающих, тех, которые дирижируют коллективной игрой, т.е. преобразуют яркие индивиду-

альности в сплоченный ансамбль. Сплоченная команда применительно к науке — научная школа. В советской физике ярким примером выдающегося дирижера-лидера был, как некогда пел Высоцкий, «главный академик» А.Ф.Иоффе.

Продолжая сравнение Шкловского в отношении Струве, мы должны заключить, что последний тоже забивал личные «голы», может быть, впрочем, не столь красивые и не столь исторически запоминающиеся, как «голы» гениального Гамова. Главная же и бесспорная заслуга Струве состоит в его роли лидера научной школы.

### ДИРЕКТОР ЙЕРКСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Итак, через десятилетие после приезда Струве в США определились следующие обстоятельства: он выжил, он полностью адаптировался к американскому образу жизни, он нашел свою научную стезю и добился определенной известности и признания как одаренный, разносторонний и продуктивный астроном. Тогда ему улыбнулась удача, которую он честно заслужил.

Для опекуна и благодетеля Струве — второго по счету директора Йеркской обсерватории Фроста — настал час ухода в отставку. К этому времени Струве морально расстался с Фростом сполна. Он довел до публикации бесконечно затянувшиеся, громоздкие и вялые научные проекты своего босса и его сотрудников, причем в списке авторов имя директора обсерватории всегда значилось первым, а имя Струве — последним.

На замещение поста директора университетской обсерватории, как водится, рассматривалось несколько кандидатур именитых и менее известных пришлых варягов. Однако президент Чикагского университета отдал предпочтение Отто Струве и остановил свой выбор именно на нем. Подробности этой истории любопытны.

Президент университета после избрания получил от чикагских газетчиков насмешливую кличку «мальчишка». Сын либерального священника, отстаивавше-

го равные права для белых и черных, блестящий выпускник юридической школы Йельского университета, с необычно богатым для своих неполных тридцати лет административным опытом, он дерзко вышел победителем в схватке за престижный пост президента Чикагского университета. К рассматриваемому времени он стал лишь немногим старше, и ему чрезвычайно импонировали энтузиазм и работоспособность 35-летнего Струве. Они были людьми одного поколения и общей системы ценностей.

На президента университета в силу его либеральных политических взглядов вовсе не производили впечатления страстные призывы старой гвардии не отдавать американскую науку на откуп иностранцам. Он полностью игнорировал подобные эскапады. Основным критерием для решения оставались конкретные результаты научной работы. Он ценил Струве исключительно высоко и оставался его добрым административным гением на протяжении долгих лет их контактов. Дипломат Струве никак не игнорировал своего декана, но все трудные и принципиальные для директора обсерватории вопросы всегда решал путем непосредственного обращения через голову декана к президенту университета.

В 1932 г. Струве стал третьим по счету директором Йеркской обсерватории, переживавшей суровый и затяжной кризис. К прежним невзгодам добавились беды великой депрессии, и обсерватория, безо всякого преувеличения, оказалась на грани выживания; выражаясь медицинским языком, она была в состоянии клинической смерти. Какие шаги надлежало предпринять новоиспеченному директору?

Струве потребовалось недюжинное личное мужество по корчеванию «мертвого леса». Сокращение нерадивых и непродуктивных научных сотрудников в США сплошь да рядом столь же сложно и мучительно, как и в России. Как ни прискорбно это констатировать, но действовал Струве в нескольких случаях теми же отвратительными методами, которые хорошо известны из советской практики: следил за трудовой дисципли-

ной, фиксировал опоздания на работу и отсутствие на рабочем месте в часы наблюдений. Ужас положения заключался в том, что увольняемые были добропорядочными американцами.

На освобождающиеся многочисленные вакансии предстояло взять лучших из лучших. Однако одаренные выпускники престижных американских университетов не рвались на низкооплачиваемую работу в захудалую Йеркскую обсерваторию. В большинстве случаев Струве удавалось залучить на работу не того кандидата, которого он считал номером один, а лишь его дублера. Но даже эти дублиры были в своих узких областях специалистами экстракласса. И как на грех в подавляющем большинстве своем они были иностранцами: Джерард Койпер (1905—1973) из Голландии, Бенгт Стремгрэн (1908—1987) из Дании, Субрахманьян Чандрасекар (1910—1995) из Индии. Любой астроном не может не заметить, что данный список — цвет американской послевоенной астрономии, и все в нем поименованные в той или иной мере воспитанники Струве.

Особенно много крови стоило Струве приглашение на работу, смуглокожего Чандрасекара. Молодой индус был зрелым теоретиком, кстати говоря, хорошо знавшим себе цену. Он родился на территории современного Пакистана в известной браминской семье и с блеском учился в Мадрасе. Его дядя сэр Чандрасекар Раман (1888—1979), тоже учившийся в Мадрасе, стал лауреатом Нобелевской премии по физике 1930 г. Племянник нобелевского лауреата продолжал обучение в Кембриджском университете в Англии у великого астрофизика Эддингтона. Подобное было в порядке вещей, поскольку Индия входила в состав Британской империи.

Но Соединенным Штатам еще предстояло пережить несколько десятилетий до победы мощного движения за гражданские права, ослабившего расовые предрассудки. Непосредственный шеф директора обсерватории, декан, был откровенным расистом и категорически отказывался брать Чандрасекара на постоянную работу в университет. В ход был

пущен даже аргумент, что молодой индус разделяет коммунистические убеждения (он посещал Советский Союз).

Тяжелая для Струве коллизия была разрешена только вмешательством президента университета, который писал директору обсерватории: «Единственное обстоятельство, которое должно быть принято в расчет при решении вопроса о приеме на работу, это способности исследователя. Мне не интересны его политические взгляды, если только они не повлекут за собой неприятностей с полицией. Я надеюсь, он [Чандрасекар] отдает себе отчет в том, что призыв к насильственному свержению правительства рассматривается в штате Иллинойс как уголовное преступление». Струве настоял на своем и, как всегда, полностью добился поставленной цели. Главное, он отнюдь не заблуждался в оценке новых сотрудников: Чандрасекар успешно работал в Чикаго с 1937 г. до самой своей смерти, удостоившись за работы в области астрофизики Нобелевской премии по физике 1983 г.

После войны список талантливых иностранцев, работавших у Струве, пополнился еще и беженцем из нацистской Германии — Герхардом Херцбергом, который получил Нобелевскую премию по химии 1971 г. Разумеется, не надо сгущать краски: среди блестящих сотрудников Струве были молодые астрономы, родившиеся и учившиеся в США, например, Уильям Морган и Десси Гринштейн.

Глядя с высоты исторической перспективы, нам остается только удивляться успехам Струве в кадровой реорганизации обсерватории. Сюда считали за честь приехать для наблюдений астрономы всего мира: из России — Б.П.Герасимович и академик Г.А.Шайн, из Бельгии — Поль Свингс, из Германии — кузен Георг Отто Германн Струве (1886—1933), сын дяди из Берлин-Бабельсбергской обсерватории, датчанин Кай Стрэнд, аргентинец Хорхе Сахейд и многие другие. Особенно дружественные отношения связывали Струве с Лейденской обсерваторией. Голландские астрономы гостили у него один за другим: Хендриком ван де Хюлст, Адриан Блаау, Марсель Миннарт, Ян Оорт.



*Директор Йеркской обсерватории Отто Струве за рабочим столом. 1946 г.*

Анналы обсерватории при Струве хранят следы пребывания в ней многих будущих астрономических лидеров Европы. Не иссякал поток молодых и маститых американских визитеров. Научная школа Отто Струве, как некогда научная школа его прадедушки в Пулкове, вышла на позиции мирового лидера. И когда в 1950 г. Струве решил отбыть в Калифорнию, он мог совершить это со спокойной душой и чистым сердцем.

#### ОСЕНЬ И ЗИМА ПАТРИАРХА

Радикальное обновление кадров было важным, но не единственным началом нового директора обсерватории Чикагского университета. В поле зрения Струве находилась и другая не менее важная задача: радикальное обновление инструментальной базы. Как воздух Струве нужен свой большой телескоп,

расположенный в астроклиматических условиях, разумеется, превосходящих посредственные астроклиматические условия в Уильямс-Бей. Как известно, кто не желает серьезно заниматься своим делом, ищет оправдания бездействию. Кто желает — ищет и находит нестандартные решения. Струве решил задачу создания новой инструментальной базы обсерватории в свойственной ему нестандартной манере.

Так уж случилось, что техасский банкир Уильям Мак-Доналд завещал Техасскому университету изрядную сумму денег для постройки телескопа, повергнув власти университета в сильное уныние. У них абсолютно не было сотрудников, способных справиться с подобной сложной и трудоемкой задачей. Декан запросил совета у директоров ряда американских обсерваторий. Тем не было дела до Техасского университета, и они отмахнулись. Охоч на советы был лишь не слишком обремененный повседневной научной работой директор Йеркской обсерватории Фрост, но дальше обмена письмами он тоже не двинулся. Деньги



*Отто Струве и его жена Мэри выбирают место для обсерватория Мак-Доналд. Техас, 1932 г.*

на телескоп лежали невостребованными, покуда о них не узнал от Фроста Струве.

Тихо и в высшей степени дипломатично, умело маневрируя между президентами двух гонористых университетов, Струве подготовил и претворил в жизнь беспрецедентное соглашение. Деньги, завещанные Мак-Доналдом, шли на постройку 82-дюймового телескопа (этот двухметровый телескоп становился вторым по размерам в США и в мире) в обсерватории, в течение 30 лет (1932—1962) управляемой совместно как Техасским, так и Чикагским университетом. Струве скрупулезно предусмотрел все права и обязанности совладельцев, включая распределение наблюдательного времени. Разумеется, на его долю пришелся титанический труд по выбору места, проектированию, постройке и введению в строй нового телескопа. Но Струве получал то, о чем мечтал: воз-

можность постоянно работать на превосходном астрофизическом инструменте в отличных горных условиях Техаса. Так родилась обсерватория Мак-Доналд, можно сказать, дочернее предприятие Йеркской обсерватории, — памятник такту, дипломатическому и профессиональному мастерству Струве.

После двух тяжких для всей Америки и для Струве периодов — великой депрессии и второй мировой войны — послевоенные годы в Уильямс-Бей казались золотой осенью патриарха.

В 1946 г. вместе с Шепли и Джоуэлом Стеббинсом (1878—1966) Струве летал в Копенгаген на переговоры о возобновлении деятельности Международного астрономического союза. Как видно, с этой ответственной миссией к европейским коллегам были откомандированы три влиятельнейших астронома США того времени, и Струве был самым молодым из них. На первом послевоенном съезде МАС в 1948 г. Струве избирается его вице-президентом.

Йеркская обсерватория напоминала собой улей, который посещали и где об-

менивались новейшими научными результатами все корифеи астрономического мира. Она была равноправным партнером физического факультета Чикагского университета, где работало несколько нобелевских лауреатов, включая Роберта Милликена (1868—1953) и Энрико Ферми (1901—1954). Напомним, что в годы войны значительная часть американского атомного проекта осуществлялась именно в Чикагском университете.

Особенно памятным для Струве стал 1947 год, — 15-й год его пребывания на постах директора Йеркской обсерватории и редактора «Астрофизического журнала». Йеркская обсерватория отмечала 50-летие своего существования. Струве, ровесник обсерватории, тоже отмечал пятидесятилетие. Юбилеи прошли пышно и торжественно с приуроченными к ним ценными научными симпозиумами. Но вскоре на смену золотой осени для Струве наступила тревожная зима.

В 1947 г. Струве реализовал давно вынашиваемый им план административной реорганизации астрономии в Чикаго. Он придумал себе пост как бы супердиректора, ответственного и за обе обсерватории (Йеркскую и Мак-Доналд), и за департамент астрономии университета. Это давало ему право формально уйти с постов директора Йеркской обсерватории и главного редактора «Астрофизического журнала», открывая возможности для долгожданного продвижения кого-то из его воспитанников. Попутно Струве избавлялся от многих тяготивших его административных хлопот.

Жизнь, однако, показала, что реорганизация не только не облегчила, но еще больше осложнила его взаимоотношения с Дж.Койпером и другими ведущими сотрудниками. Причина трений, если говорить предельно кратко, была простой и ясной: собранным Струве ярким талантам уже было тесно под одной крышей. Давно окрепшие, они переросли опеку Струве и боялись его богатой фантазии в разработке новых неведомых им научных планов. Лучшие ученики обвиняли своего учителя в диктаторских замашках, в пренебрежении их личными

научными интересами и даже в двуличии. Койпер несправедливо и желчно писал в то время, что Струве хотел предстать перед миром вторым Джорджем Эллери Хейлом, но для своих ближайших коллег будто бы являл собой тирана и деспота.

На фоне разрастающегося как раковая опухоль конфликта в 1950 г. Струве уехал в Калифорнийский университет. Под этим общим названием объединена большая группа по существу самостоятельных университетов. Для уточнения, о каком из них идет речь, в скобках указывают место расположения: Лос-Анджелес, Ирвайн, Сан-Диего, Санта-Барбара и т.д. Струве переехал в Калифорнийский университет (Беркли). Его целью было еще раз повторить в жизни то, с чем он однажды так хорошо справился: создать в Беркли новый сильный астрофизический департамент. Для наблюдений здесь он имел открытый доступ к крупным калифорнийским телескопам Ликской обсерватории и обсерватории Маунт-Вилсон.

Работая в Беркли, Струве получал очень заманчивые предложения, в частности занять в высшей степени престижный пост директора астрономической обсерватории Гарвардского университета. Он тщательно обсуждал такого рода предложения и умело использовал их для требований дополнительных ассигнований на астрофизику в Беркли. В конечном счете он эти предложения отклонял, и уступил только один раз.

В 1959 г. неожиданно для многих Струве принял предложение стать директором вновь организуемой Национальной радиоастрономической обсерватории (НРАО) в Грин-Бэнк, Западная Вирджиния. Опытных радиоастрономов ни в США, ни во всем мире в ту пору еще по существу не было. Миссия директора требовала четкого видения очень далекой перспективы и большого организационного опыта. Струве воспринял приглашение как признание его заслуг, что полностью соответствовало действительности. Но роль научного лидера в совершенно не известной области была уже ему не по плечу. Недовольный



сам собой, он оставался директором НРАО менее трех лет, до января 1962 г.

С отъездом из Чикаго отношения Струве с коллегами по Йеркской обсерватории мало-помалу вошли в норму. Ученики вновь признали и по достоинству оценили своего учителя. Семейная жизнь текла без изменений. Струве женился вскоре после приезда в США. Его жена Мэри была чуть старше его и разведена с первым мужем. Оказалось, что у них не может быть детей. Уже становясь директором Йеркской обсерватории, Струве отдавал себе отчет в том, что пятого поколения астрономов в династии Струве никогда не будет.

Мэри не вполне разделяла устремления и интересы Отто, и на склоне лет, знаменитый и признанный, он чувствовал себя одиноким. Его жестоко мучил гепатит, подцепленный то ли в период русского лихолетья, то ли в Турции. Давала себя знать общая слабость: в 1956 г., работая ночью на 60-дюймовом телескопе обсерватории Маунт-Вилсон, Струве упал с большой высоты и сломал несколько ребер. Он провел в больнице пять недель, стал носить корсет, но быстро вернулся к работе. Падение, однако, тоже не прошло даром.

Как всякий крупный ученый, Струве отмечен многими научными наградами. В Беркли он продолжал регулярно получать приятные знаки общественного признания. Именно в этот период он пригласил свою молодую сотрудницу Вельту Зебергс, дочь астронома Ликской обсерватории С.Василевскиса, помочь ему написать что-то вроде научного завещания: книгу «Астрономия XX века». Она увидела свет на английском языке в 1962 г.

Умер О.Л.Струве в больнице г.Беркли 6 апреля 1963 г., на 65-м году. Пример его жизни еще раз наглядно продемонстрировал, что боязнь иностранцев совершенно безосновательна и контрпродуктивна. США родились и продол-

жают оставаться «плавильной печью» для выходцев со всего света. Струве и другие выпестованные им таланты из Европы и Азии работали на американскую науку и во славу американской науки, успешно двигая вперед науку мировую. Слава Богу, боязнь иностранных ученых в США сегодня представляется гораздо менее острой проблемой, чем до второй мировой войны, в далекие 30-е годы.

В США Отто Струве до сих пор вспоминают часто, не мешало бы больше помнить о нем и на родине, в России. Последний из могижан в четырех поколениях астрономической династии Струве, он не уронил чести и достоинства знатной семьи; как гласит пословица, пошел не из роду, а в род. Перемолотый жерновами гражданской войны, заброшенный на чужбину, он не сломался, не потерялся, а по вкладу в астрономию, справедливо считать, превзошел отца, дядю и деда. Конечно, в науке нет чиновничьей табели о рангах. По истинному гамбургскому счету Отто Струве стоит в одном ряду с его прадедом, основателем Пулковской обсерватории В.Я.Струве.

На ум приходит историческая параллель. Избрание Отто Струве на пост президента Международного астрономического союза было для развития мировой астрономии в годы холодной войны событием отчасти такого же значения, каким стало позднее для всего мира избрание Папой Римским кардинала из Польши. Струве был в равной степени носителем двух культурных традиций: Запада и Востока. В своей научной и научно-организационной деятельности он стал живым воплощением моста между Америкой, Европой и Азией. Личным примером он стимулировал широкое международное сотрудничество без политических границ на таком новом уровне, который, без преувеличения, придал астрономии XX в. второе дыхание.

## Загадочная «нить» из сердца асцидии

Г. М. Виноградов,  
кандидат биологических наук  
Москва

**В** КОНЦЕ 80 — начале 90-х годов французская исследовательница Ф. Моньо<sup>1</sup> обнаружила на мелководьях у о-вов Честерфилд, Фиджи (Юго-Западная Пацифика), и у Южной Африки новый вид колониальных асцидий, образующих на камнях корки различных цветов — от черного до розового или оранжевого. Хотя асцидий относят к типу хордовых, традиционно их рассматривают вместе с беспозвоночными, ибо спинная струна — хорда — сохраняется только у личинок, а у взрослых исчезает. Обычная взрослая асцидия больше всего похожа на мешок с двумя сифонами, проросший ко дну и фильтрующий воду (у глубоководных асцидий известны и более причудливые формы, но не о них речь). Однако у большей группы асцидий отдельные особи погружены в общую тунику, образуя единую слизистую корку-лепешку, покрытую дырочками — выходами сифонов отдельных зооидов. Их так и зовут — колониальные асцидии. Зарождаются они от одной осевшей личинки путем бесполого почкования. У асцидий незамкнутая кровеносная система, а на брюшной стороне расположено трубкообразное сердце, состоящее из двух слоёв: внутреннего — миокарда и наружного — перикарда, между которыми имеется полость — околосоердечная сумка.

У вновь обнаруженного вида, получившего имя *Eudistoma hospitale*, кроме незначительных морфологических особенностей отмечен

характерный отличительный признак: в околосоердечной сумке каждого зооида неизменно находится свернутая в клубочек нить — и всегда только одна. Иногда она таких размеров, что выходит из околосоердечной сумки в жаберную полость и даже высовывается наружу через ротовой сифон. Один конец нити врастает в ткани миокарда, как бы закориваясь там. Сама нить (толщиной около 20 мкм) покрыта плотной несегментированной оболочкой, которая лишена целлюлозоподобных веществ (характерных для покровов асцидий), а также хитина. Внутри нити обнаружили клетки двух типов (или двух стадий развития) — все они округлые, с большим центральным ядром и плотно прижаты друг к другу, но одни содержат гомогенную цитоплазму, а другие сильно вакуолизированы.

Нить вряд ли является частью самой асцидии (например, крайне своеобразным экскреторным органом). В том месте, где нить закоривается, клетки асцидии как бы инкапсулируют ее, что весьма схоже с реакцией на вторжение паразита (точно так же выглядят цисты, образующиеся вокруг внедрившихся в асцидий паразитических copepod). Так что скорее это все же некий, крайне морфологически упрощенный, симбионт (мутуалист либо паразит).

Симбионты у асцидий — самые разные: от вирусов и бактерий до простейших, грибов и водорослей и далее — до кишечнополостных, плоских и кольчатых червей, мшанок, немуртин, моллюсков, разнообразнейших ракообразных и даже рыб. Однако вопрос, к какому типу (и даже к какой более высокой таксо-

номической категории) принадлежат обнаруженные нити, остается открытым. Наличие больших клеточных ядер отсекает всех прокариот (бактерий и иже с ними), особенности строения клеточных стенок говорят против водорослей. Ни один известный гриб (а симбиотические грибы, как уже сказано, в асцидиях известны) не образует таких структур, и химический состав оболочки нити тоже не дает основания отнести их к грибам. Отсутствие хоть каких-нибудь признаков дифференцировки тканей не позволяет даже думать о крайне упрощенных паразитических ракообразных.

Пути заражения зооидов тоже не ясны. Внутри колонии нити могут распространяться при почковании зооидов — но почему непременно по одной? К новым колониям нить может переноситься личинками асцидий — короткая нить была обнаружена в личинке, еще не покинувшей колонию. Однако происходит ли новое заражение с помощью отдельных клеток или гамет нити (возможно, переносимых кровью хозяина?), или гаметы паразита выходят в морскую воду, или они проникают сквозь общую тунику колонии — остается загадкой.

Таинственные нити вроде бы никак не мешают зооидам — те нормально растут и питаются, у них не наблюдается никаких деформаций либо паразитической (достаточно обычной) кастрации. Не мешают они и бесполому размножению, что позволяет колониям «гостеприимной» асцидии достигать весьма крупных (по сравнению с колониями близких видов) размеров — нескольких десятков сантиметров в диаметре.

© Г. М. Виноградов

<sup>1</sup> Moniot F. // *Zoosystema*. 1998. V.20. № 3. P.429—438.

СОДЕРЖАНИЕ

- 106 **НВ** Голубая сойка и ее виртуальные жертвы. А.М.Гиляров
- 107 Японцы летят к Марсу  
Поиск антивещества в космосе
- 108 Рекордное вращение пульсара  
Открытия на Ганиমেде
- 109 Калибан и Сикоракса — далекие спутники Урана  
Солончаки космической Европы
- 110 Сухой лед и... атмосфера Марса
- 111 Интерференционный метод наблюдения планет вне Солнечной системы
- 112 Сверхпроводимость двумерного электронного газа  
Дятлы как «квартиреры» летучих мышей
- 113 Необычное «цветение» моря  
Второму выжить легче. Б.М.Миркин
- 114 Бактерии — хранители природных памятников
- 115 Рулетка: добро или зло?  
В центре внимания<sup>1</sup> — астма  
После бедствия жизнь возвращается
- 116 Раздавать ли «противоатомные» таблетки?  
Вольфрам — вместо свинца  
Очистка почвы от радионуклидов методом фиторемедиации
- 117 В США заработало долговременное хранилище слаборадиоактивных отходов  
Глубоководное бурение в 21-м столетии. И.А.Басов
- 118 Спутник считает молнии
- 119 Ископаемая свартпунция

CONTENTS

- 106 The Blue Jay and Its Virtual Prey.  
A.M. Gilyarov
- 107 The Japanese Fly to Mars  
Searching for Antimatter in Space
- 108 Pulsar's Record-breaking Rotation Discoveries on Ganymede
- 109 Caliban and Sicoraksa: Distant Satellites of Uranus  
Saline Soils of Cosmic Europe
- 110 Dry Ice and ... Martian Atmosphere
- 111 Interference Method for Observing Planets outside the Solar System
- 112 Superconductivity of 2D Electron Gas  
Woodpeckers as Providers of Bats' Housing
- 113 Unusual Bloom at Sea  
The Second Finds It Easier to Survive. B.M. Mirkin
- 114 Bacteria as Keepers of Natural Monuments
- 115 The Roulette: Good or Evil?  
Asthma in Focus  
Life Returns after the Disaster
- 116 Should «Antiatomic» Pills Be Distributed?  
Tungsten Instead of Lead  
Cleaning Soil from Radionuclides by Phytoremediation
- 117 A Long-Term Repository for Low-Level Radioactive Waste Was Put into Operation in the USA  
Deep Sea Drilling in the 21th Century. I.A. Basov
- 118 A Satellite Counts Lightnings
- 119 Fossil Swartpuntia

## Nota bene

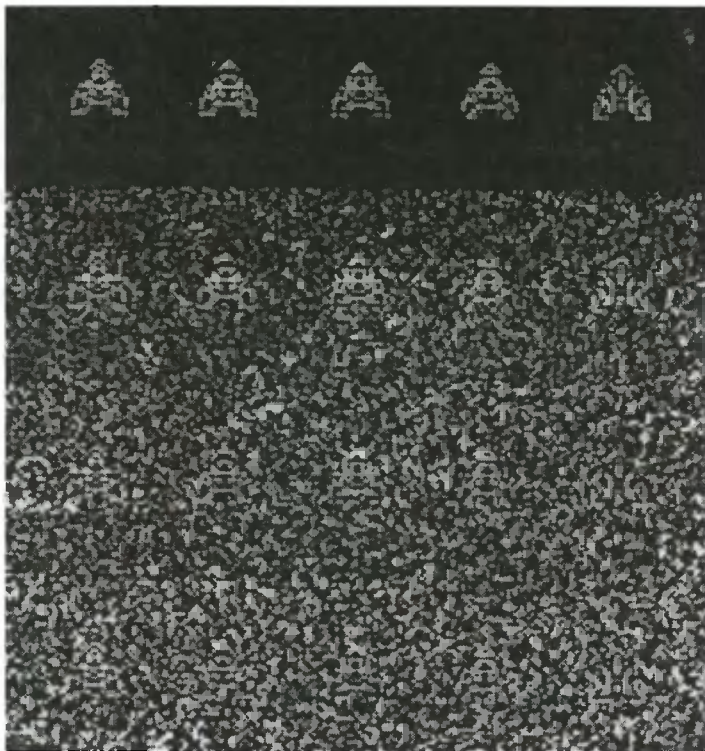
### Биология

#### Голубая сойка и ее виртуальные жертвы

Экологам хорошо известно, что некоторые хищники, например насекомоядные птицы, сталкиваясь с разными видами потенциальных жертв, способны переключать внимание на тех из них, которые встречаются особенно часто, и поэтому выедают их наиболее интенсивно. При этом существенно снижается истребление редких видов — они становятся жертвами реже, чем этого следовало ожидать, исходя из простой вероятности встреч с ними. Появилась даже гипотеза, согласно которой многие редкие виды продолжают существовать в природе именно благодаря тому, что у хищника не формируется их «поисковый образ» и, следовательно, он их почти не замечает, а тем более на них не специализируется.

При объяснении явления сбалансированного полиморфизма — устойчивого сосуществования в одной популяции нескольких разных морф (различающихся не только фенотипически, но и генотипически) — тоже нередко вспоминают о выборочном потреблении этих морф хищниками. Теоретически хищник может переключать свое внимание на ту морфу, которая относится к наиболее массовым, и таким образом способствовать сохранению в популяции более редких морф.

Для проверки этого предположения Э.Бонд и Э.Кэмпил из Университета штата Небраска провели недавно специальное исследование<sup>1</sup>, в ходе которого шести приру-



*Пять морф бабочки сойки на экране компьютера (поиснения в тексте).*

ченным голубым сойкам (*Cyanocitta cristata*) демонстрировали на экране компьютера слегка стилизованные изображения бабочек совков из рода *Catocala*. Всего в компьютерной «популяции» бабочек насчитывалось пять морф, которые различались по степени выраженности своей криптической (скрытой) окраски (см. рис.): если первая морфа сравнительно легко выделялась на пятнистом фоне, то пятая была почти неразличима (во всяком случае человеческим глазом). Прирученную сойку подносили к экрану, и если она правильно обнаруживала жертву и «склеивала» ее с экрана, то сразу же получала вознаграждение. «Съеденную» же бабочку

немедленно изымали из популяции и замещали другой — не всегда той же морфы и только на следующий день.

Провели несколько серий экспериментов. Начинали с разного соотношения исходных морф (в некоторых сериях изначально преобладали бабочки с наиболее скрытой окраской, в других — наиболее заметные), но в любом случае каждый день после окончания эксперимента общую численность популяции доводили до 240 особей, а соотношение в ней разных морф устанавливали таким, каким оно складывалось к концу предыдущего дня после виртуальной охоты соек. Каждой сойке в течение дня в случайном порядке показывали 84 раза экран с изображением только фона и 36 раз с изображениями фона и бабочек. Всего за день одной

<sup>1</sup> Bond A.B., Kamil A.C. // *Nature*. 1998. V.395. № 6702. P.594—596.

сойке предъявляли 216 ее потенциальных жертв. Надо сказать, что способность различить на экране морфы с наиболее криптической окраской оказалась у разных соек неодинаковой, а некоторые сойки так и не научились находить их на экране.

Динамика соотношения разных морф, прослеженная в течение 50 дней (а соответственно и у 50 «поколений» бабочек), наглядно свидетельствовала о том, что в этой виртуальной популяции настоящие хищники способны поддерживать сбалансированный полиморфизм. Сойки действительно меняли свое предпочтение в зависимости от частоты встречаемости того или иного типа жертв, а численные соотношения разных морф в конце разных серий опыта устанавливались очень похожими, хотя исходно задавались существенно разными.

© А.М.Гиляров,  
доктор биологических наук  
Москва

#### Космические исследования

### Японцы летят к Марсу

4 июля 1998 г. с космодрома Кагосима (о.Кюсю) ракетой носителем «М-5» был запущен космический аппарат «Planet-B» — первый японский зонд, направленный к Марсу. После успешного старта аппарат назвали «Нодзоми» («Надежда»). Выйдя на эллиптическую промежуточную орбиту, аппарат, используя притяжение Земли и Луны, разогнался и отправился к Красной планете.

По расчетам, в октябре 1999 г. «Нодзоми», достигнув окрестностей Марса, перейдет на вытянутую эллиптичес-

кую орбиту вокруг него. Низшая точка орбиты будет находиться всего в 150 км от поверхности Марса, а высшая — в 27 300 км. Вблизи планеты предполагается собрать образцы верхней атмосферы и провести метеорологические наблюдения; удаляясь от Марса, аппарат будет исследовать концентрацию ионов и нейтральных газов в составе солнечного ветра.

Эти новые данные помогут ответить на вопрос, каким образом Марс взаимодействует с солнечным ветром. В околоземном пространстве такое взаимодействие с потоком заряженных частиц, изверженных Солнцем, осуществляется при активном участии магнитного поля нашей планеты. Но измерения, выполненные в свое время советскими и американскими зондами, показали, что у Марса очень слабое магнитное поле. Значит, его взаимодействие с солнечным ветром обещает обнаружить новые интересные эффекты.

New Scientist. 1998. V.159.  
№ 2142. P.12 (Великобритания)

#### Астрофизика

### Поиск антивещества в космосе

В июне 1998 г. было положено начало интереснейшему эксперименту, конечная цель которого — найти следы антиматерии, сохранившейся со времени Большого взрыва. Эксперимент проводится сотрудниками Массачусетского технологического института (Кембридж, США) под руководством лауреата Нобелевской премии по физике за 1976 г. С.Тинга (S.Ting).

Хотя до сих пор специалистам удавалось обнаруживать лишь редкие события, связанные с появлением ан-

тичастиц, однако многие физики-теоретики убеждены, что в космосе существуют значительные области, состоящие из антиматерии. Если это так, то из этих областей должны вылетать ядра антигелия и еще более тяжелые античастицы.

Экспериментаторы создали магнитный спектрометр альфа-частиц (Alpha Magnetic Spectrometer — AMS), предназначенный для регистрации античастиц в космическом пространстве. Внутри спектрометра находится двухтонный магнит с диагностическим оборудованием для измерения массы и заряда космических частиц высоких энергий.

Прибор был размещен на борту космического корабля «Шаттл Дискавери»; после испытаний в течение 100 ч предполагалось установить его в январе 2002 г. на международную космическую станцию, где ему предстояло проработать около трех лет. Однако значительная часть эксперимента сорвалась из-за нарушений в работе антенны «Дискавери»: теперь лишь 15% информации сможет поступать к исследователям в реальном времени, остальная записывается для более позднего анализа. Кроме того, существует опасение в неверной калибровке прибора.

Стоимость эксперимента (без учета запуска) составляет 200 млн долл. США. Еще до его начала некоторые специалисты подвергли руководство НАСА критике, считая, что эксперимент слишком поспешно подготовлен и шансы зафиксировать антивещество очень малы.

Г.Тарле (G.Tarle; Университет штата Мичиган, Анн-Арбор) напоминает, что в случае существования во Вселенной большого количества антиматерии последняя должна постоянно вступать в контакт с обычной материей и, аннигилируя, выделять гамма-из-

лучение. Однако наблюдениями это не подтверждается. Дискуссия по поводу полезности эксперимента продолжается, хотя он уже идет.

New Scientist. 1998. V.158.  
№ 2139. P. (Великобритания).

#### Астрофизика

### Рекордное вращение пульсара

Как известно, пульсар — это нейтронная звезда гигантской плотности: при массе, близкой к солнечной, диаметр пульсара всего около 10 км. Такой объект рождается при взрыве сверхновой звезды, когда ее ядро испытывает катастрофическое сжатие, коллапсирует.

Согласно существующей теории, магнитные поля сверхновой не позволяют новорожденному пульсару вращаться со скоростью свыше 60 оборотов в секунду. Неожиданным оказалось поэтому открытие, сделанное группой астрономов во главе с Ф.Маршаллом (F.Marshall; Центр космических полетов им.Годдарда НАСА, Гринбелт, штат Мэриленд).

Обработывая материалы, полученные с борта ИСЗ «Эксплорер-рентгеновский хронометрист им.Б.Росси» («Rossi X-ray Timing Explorer»)¹, они обнаружили существование молодого пульсара, совершающего 62 оборота в секунду!

«Старые» пульсары в принципе могут вращаться намного быстрее, если падающее на них вещество другой звезды способствовало их

раскручиванию. Но данному пульсару, по всей видимости, не более 4 тыс. лет. Расчеты показали, что первоначально он совершал около 150 оборотов в секунду, но впоследствии замедлил свое вращение до нынешней частоты.

Открытие указывает на необходимость пересмотреть некоторые гипотезы происхождения таких объектов.

New Scientist. 1998. V.157.  
№ 2120. P.24 (Великобритания).

#### Планетология

### Открытия на Ганимеде

Автоматическая межпланетная станция «Галилео» (США) продолжает наблюдения в системе Юпитера, передавая на Землю информацию об этой величайшей из планет Солнечной системы и ее спутниках. Особый интерес для специалистов представляют данные о самом крупном из них — Ганимеде, размер которого больше, чем у планеты Меркурий.

«Галилео» впервые совершил облет Ганимеда 27 июня 1998 г., сблизившись с этим каменно-ледяным небесным телом до расстояния всего 835 км. Первые же изображения районов, отобранных для более тщательного изучения (область Галилея и рывина Урук¹), принесли ценную информацию о геологическом прошлом Ганимеда. Оказалось, что названные местности — это древние, усеянные кратерами ледяные поля, примыкающие частично к более молодым вулканическим равнинам, а частично — вовсе перекрытые ими. Вокруг этих

образований расположились хребты ледяных гор, глубокие борозды и отдельные относительно гладкие широкие бассейны; происхождение этих образований связано с тектоническими процессами.

Пожоже, что примерно половина поверхности Ганимеда, усеянной древними кратерами, позже была преобразована в ходе молодой вулканической и тектонической активности. Таким образом, сначала Ганимед подвергся мощной бомбардировке кометами и астероидами, а затем его поверхность покрылась «морщинами», порожденными теми же силами, которые на Земле воздвигают горы и перемещают континенты. Это объясняет происхождение того необычного рельефа местности, который в общих чертах был обнаружен еще при пролете космического аппарата «Вояджер» (1979), и заставляет планетологов пересмотреть возраст и последовательность процессов, в результате которых складывался ландшафт Ганимеда.

Еще более сенсационным стало открытие, сделанное с помощью магнитометра и бортового плазменного спектрографа — приборов для измерения компонент магнитного поля и вариаций электромагнитного поля в пространстве. Выяснилось, что у Ганимеда есть собственная магнитосфера (по форме напоминающая пузырь), где скапливаются заряженные частицы. До сих пор магнитосфера была известна лишь у планет, и это первый случай открытия ее у спутника.

О причине существования магнитосферы у Ганимеда есть два мнения. Во-первых, он может иметь расплавленное железное ядро, играющее роль «сердечника» гигантской динамомшины. Во-вторых, механизм динамо может работать благодаря движениям в слое электропровод-

¹ Бруно Росси — американский физик итальянского происхождения.

¹ Урук — название древнего государства в Шумере.

ной соленой воды, скрывающейся под ледяной корой.

Руководитель проекта «Галилео» Т.В.Джонсон (T.V.Johnson; Лаборатория реактивного движения НАСА, Пасадена, штат Калифорния) не скрывает своего удивления фактом полного перекрытия магнитосферы Ганимеда юпитерианской: на Ганимеде наблюдается нечто вроде магнитной «матрешки». Конечно, какого-то взаимодействия между магнитными полями планеты (которое намного интенсивнее земного) и ее спутника следовало ожидать, но сплошное их перекрытие — явление до сих пор не отмечавшееся.

Когда автоматическая станция «Галилео» приблизилась к Ганимеду, индукция магнитного поля почти пятикратно усилилась, а ее направление внезапно изменилось так, что поле уже было направлено не на Юпитер, а на его спутник. Именно это и привело главного магнитолога проекта М.Кивелсона (M.Kivelson; Университет штата Калифорния) к неожиданному выводу: здесь одна магнитосфера «прячется» внутри другой.

Специалисты по ионосфере почерпнули из этих данных информацию о том, что Ганимед окружен слоем заряженных частиц; они образуют хотя и не очень мощную, но собственную ионосферу спутника. Можно думать, предположил специалист по спектрометрии Д.А.Гарнетт (D.A.Gurnett; Университет штата Айова), что у Ганимеда есть и атмосфера, пусть и весьма разреженная.

Итак, Ганимед предстал перед учеными в совершенно новом виде. Вполне вероятно, что и в мире других спутников следует ожидать немало открытий — ведь работа «Галилео» продолжается.

Jet Propulsion Laboratory Release.  
October, 1998 (США).

## Планетология

### Калибан и Сикоракса — далекие спутники Урана

К изучению открытых в конце 1997 г. спутников Урана, которым присвоены имена Калибан и Сикоракса, приступили первооткрыватели Ф.Д.Николсон и Дж.А.Бёрнс (Ph.D.Nicholson, J.A.Burns; Корнелльский университет, Итака, штат Нью-Йорк) и их коллеги Б.Дж.Глэдман (B.J.Gladman; Торонтский университет, Канада), Б.Дж.Марсден (B.G.Marsden; Смитсоновская астрофизическая обсерватория, Кембридж, штат Массачусетс) и др.

Исследователи отмечают, что системы спутников и колец вокруг гигантских планет Солнечной системы имеют сходное строение. Обычно ближе всего к планете располагаются орбиты малых «лун»; затем — почти круговые орбиты «правильных» (т.е. обращающихся близко к экваториальной плоскости планеты, в направлении ее суточного вращения), более крупных спутников; наконец — весьма вытянутые или наклонные орбиты «неправильных», наиболее удаленных малых спутников.

До сих пор единственным исключением из этого правила была система Урана, в которой «неправильные» спутники, казалось, отсутствуют. Но теперь установлено, что Калибан и Сикоракса обращаются вокруг Урана на расстояниях, составляющих несколько сот радиусов этой планеты, а их орбиты «неправильны» и сильно наклонены к ее экватору.

Оба спутника имеют очень слабый блеск (в красной полосе спектра их звездные величины 20.4 и 21.9). Исходя из этого, радиус Сикораксы оценивается в 60 км, а Калибана — лишь в 30 км. Необычный красноватый отте-

нок спутников говорит об их «родстве»: вероятно, оба были захвачены тяготением Урана еще на ранней стадии образования Солнечной системы. Поэтому не удивляет и литературное родство имен, выбранных для спутников: знатный Шекспира без труда узнали раба Калибана и его мать Сикораксу из «Бури».

Заметить Калибан и Сикораксу не удалось даже приборам на борту межпланетной станции «Вояджер-2», проходившей вблизи Урана в 1986 г. Теперь, наконец, этот пробел заполнен.

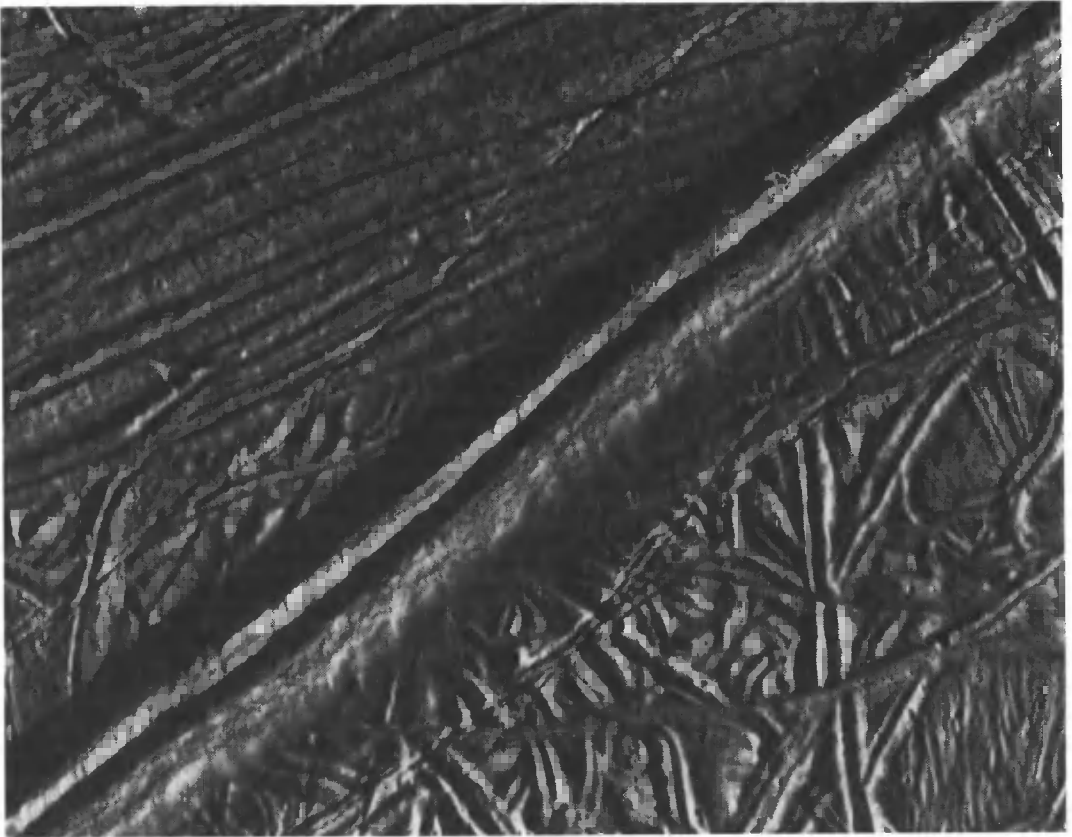
Nature. 1998. V.392. № 6679.  
P.897 (Великобритания).

## Планетология

### Солончаки космической Европы

Один из крупнейших спутников Юпитера — Европа — продолжает открывать специалистам свои «черты». На конференции Американского геофизического союза в Сан-Франциско планетологи Т.Б.Мак-Корд, Г.Б.Хансен и Ф.П.Фанале (T.B.McCord, G.B.Hansen, F.P.Fanale; Университет штата Гавайи, Гонолулу, США) сообщили, что при обработке материалов, которые были получены с космического аппарата «Галилео», находящегося на околоюпитерианской орбите, они определили следы сернокислого магния в спектре отраженного солнечного излучения. На Земле кристаллы  $MgSO_4$  обычно находят в солончаках, на дне пересохших озер.

Области Европы, где концентрация  $MgSO_4$  особенно велика, отличаются темной окраской; здесь заметны также крупные линейные структуры — возможно, разломы и трещины. Не исключено, что под поверхностью находятся скопления воды, которая про-



*Ледяная поверхность спутника Юпитера — Европы. Сфотографирована космическим аппаратом «Галилео» в момент наибольшего сближения (~2000 км) 26 февраля 1997 г. Площадь района (14×17) км<sup>2</sup>; разрешение 20 м; освещение с востока; координаты центрального изображения 14.8°с.ш., 273.8°з.д. Молодая ливневая структура, протянувшаяся по всему району, — двойная гряда шириной 2.6 км, высотой 300 м.  
Фото Лаборатории реактивного движения НАСА (Пасадена, США)*

сачивается или временами прорывается наверх.

Если солончатая вода действительно выходит на поверхность Европы, то в условиях вакуума она должна очень быстро испаряться, оставляя на месте кристаллы сернокислого магния.

Поскольку Европа постоянно подвергается бомбардировке частицами высокой энергии, направляемыми магнитосферой Юпитера, поверхность спутника эродирована. Если бы удалось определить, как долго сернокислый магний остается на поверхности Европы, появилась бы возможность

установить, давно ли образовался европианский океан.

Данные о присутствии MgSO<sub>4</sub> на Европе не могут быть ошибочными: бортовой спектрометр «Галилео» работал в близкой инфракрасной области излучения во время нескольких пролетов над одним и тем же участком поверхности спутника. Полученные спектры свидетельствуют также о том, что поверхность юпитерианской «луны» содержит заметное количество органических веществ.

Science News. 1999. V.153.  
№ 1. P.11 (США).

#### Химия атмосферы

### Сухой лед и ... атмосфера Марса

Старшее поколение помнит время, когда мороженое на городской улице продащица доставала из фанерного ящика, набитого сухим льдом. Любимым развлечением мальчишек было, заполучив кусок такого льда, бросить его в лужу и следить за микровзрывами и пузырями, возникающими в воде. А еще интересней было рассовать испаряющиеся белый «дым» комки по чернильницам-невывайкам, чтобы сорвать контрольную работу.

Оказывается, однако, что сухой лед, или твердый диоксид углерода, — важная компонента атмосферы Марса. К такому выводу пришли Р.Пьерюмбер (R.Pierrehum-



bert; Чикагский университет, США) с коллегами, анализируя химический состав поверхности Марса. Ученые установили, что там в обилии содержатся льдинки диоксида углерода. Кристаллы  $\text{CO}_2$ , образуясь марсианской зимой, неизбежно должны массами выпадать в полярных областях планеты, подобно тому как на Земле обычный снег водного происхождения идет в Арктике и Антарктике, в результате чего в полярных областях формируются большие запасы льда. В периоды глобального потепления льдинки сублимируют и отдают «влагу» атмосфере. На Марсе такой процесс, по мнению Пьерюмбера, мог бы приводить к образованию облаков, состоящих все из того же диоксида углерода. На раннем этапе существования Красной планеты такие облака, плотно ее окутывая, не позволяли поверхности охлаждаться, и климат там, вероятно, был намного более теплым, чем ныне. «Простая» же вода в тех условиях не замерзала, образуя озера и реки, возможные следы которых предположительно видны на снимках, полученных с космических аппаратов.

Исследования этой проблемы очень важны в преддверии полета человека на Марс, который планируется в начале следующего столетия, в связи с чем чикагские ученые предлагают даже создать новую дисциплину — «гляциологию сухого льда».

New Scientist. 1998. V.157. № 2119. P.21. (Великобритания).

#### Физика. Астрономия

### Интерференционный метод наблюдения планет вне Солнечной системы

Предельное угловое разрешение оптического телескопа даже при идеальных атмосферных условиях (например, с космического аппарата) определяется дифракцией световых волн. Телескоп с объективом диаметром 5 м при наблюдении в видимой области спектра (на длине волны 0.5 мкм) теоретически позволяет «разделить» два точечных объекта, если угловое расстояние между ними больше 0.02 угл. с. Для справки: угловой радиус орбиты Земли при наблюдении с ближайшей звезды (параллакс для  $\alpha$  Центавра) 0.76 угл. с. Практически же, если яркость одного объекта (звезды) значительно превосходит яркость другого (планеты), более слабый источник света теряется в дифракционной картине от более яркого.

В свое время Р.Брейсвелл (Bragewell R.N., 1978) предложил интерференционный метод, позволяющий гасить изображение яркого источника с целью повысить относительную интенсивность излучения, приходящего от слабосветящихся близлежащих объектов. Световые волны от исследуемого источника улавливаются двумя одинаковыми телескопами, затем поступают на оптическую схему, которая изменяет фазу волн в одном из пучков на противоположную и после этого сводит оба пучка в один. Интерференция световых волн приводит к существенному уменьшению интенсивности на оптической оси системы и вблизи нее, тогда как излучение от источников, дающих изображение на некотором

удалении от оси, ослабляется незначительно.

Ф.Хинц с сотрудниками (Ph.M.Hinz, Стюардская обсерватория, Аризона, США) реализовали схему Брейсвелла практически. В многозеркальном телескопе они использовали два одинаковых зеркала (диаметры по 1.83 м) с расстоянием между оптическими осями 5 м. Такая установка обеспечивала бы заметное тепловое излучение планет, подобных Земле. Изображение регистрировалось матрицей  $128 \times 128$  фотоприемников на основе кремния, легированного мышьяком.

Установка Хинца работала на Земле, поэтому излучение, приходящее к телескопам, хаотически искажалось неоднородностями атмосферы, причем в каждом канале — по-своему. Поэтому полного гашения изображения звезды не достигалось, но путем соответствующей программной обработки большого числа последовательно снятых кадров удавалось подавить интенсивность центрального пика в 25 раз. Это позволяло уверенно наблюдать слабое ИК-излучение пылевых туманностей, окружающих звезды  $\alpha$  Ориона (Бетельгейзе) и R Льва. Угловые размеры туманностей соответственно 2 и 4 угл. с.

Сейчас группа планирует создание более крупной установки на базе телескопа с двумя зеркалами диаметром по 8.4 м, разнесенными на 14.4 м. Применение адаптивной оптики и охлаждаемых оптических элементов обеспечит, как показывают оценки, подавление света на оси интерферометра в 10 тыс. раз, а это уже позволит регистри-

ровать ИК-спектры пылевых дисков и планетных систем вокруг ближайших звезд.

Nature. 1998. V.395. P.251—253 (Великобритания).

### Физика

#### Сверхпроводимость двумерного электронного газа

В 1996 г. С.В.Кравченко с сотрудниками<sup>1</sup>, исследуя двумерный электронный газ (ДЭГ), обнаружили, что при достаточно низкой температуре в отсутствие магнитного поля он становится проводящим. Получают ДЭГ, «закрывающая» электроны между двумя полупроводниковыми слоями. Позднее аналогичных результатов достигли и другие исследователи. Хотя разные группы экспериментаторов применяли различные методики, во всех случаях наблюдался ряд общих закономерностей: существование критической плотности носителей заряда, ниже которой проводимость не возникает; нелинейность вольт-амперной характеристики ДЭГ; разрушение проводимости внешним магнитным полем и др.

В стандартной теории металлов, в которой ансамбль носителей заряда рассматривается как ферми-жидкость, невозможно двумерное металлическое состояние при нулевой температуре, поэтому результаты Кравченко и другие аналогичные данные требуют для интерпретации иного подхода. В частности, для корректности ферми-жидкостного описания необходимо, чтобы в системе энергия кулоновского взаимодействия носителей заряда не превышала

энергию Ферми. В экспериментах с ДЭГ последняя на порядок меньше кулоновской, поэтому необходима альтернативная модель.

М.Гранстрём (M.Granström; Кавендишская лаборатория, Кембридж, Великобритания) и сотрудники, ссылаясь на классическую работу Ф.Андерсона (Ph.W.Anderson, 1959), в которой была доказана возможность сверхпроводимости в двумерных неупорядоченных системах, предложили в качестве альтернативы ферми-жидкости как раз сверхпроводящее состояние. Они обратили внимание на общие закономерности, наблюдаемые как в ДЭГ, так и в тонких пленках MoGe, в которых был обнаружен переход диэлектрик—сверхпроводник. Данные по магнитосопротивлению ДЭГ (существование критического магнитного поля), а также близость точек перехода ДЭГ в проводящее состояние и в состояние электронного кристалла также говорят в пользу сверхпроводимости ДЭГ.

Для доказательства того, что проводимость в ДЭГ действительно вызвана переходом в сверхпроводящее состояние, потребуются новые эксперименты.

Nature. 1998. V.395. № 6699. P.253—257 (Великобритания).

### Зоология

#### Дятлы как «квартиреры» летучих мышей

Кроме классических пещер и старых чердаков, летучие мыши селятся в дуплах деревьев (а некоторые только в них и живут). Дупла же бывают разные, но среди них можно выделить две большие группы — возникшие естественным образом и выдолб-

ленные дятлами. Такая связь между дятлами и летучими мышами вроде бы достаточно очевидна, но долгое время была не удивление мало изучена.

20-летние полевые исследования, которые провел на Южном Урале, в Поволжье, в Западном Казахстане, в Предкавказье и на Кавказе В.Ю.Ильин (Пензенский педагогический университет), показали, что в 83 случаях из 109 (76%) летучие мыши поселились в дуплах, выдолбленных дятлами (к сожалению, автор не приводит данных по общему соотношению дятловых и не-дятловых дупел в этих лесах). В дятловых дуплах были найдены такие виды летучих мышей, как рыжие вечерницы (подавляющее большинство находок), прудовые ночницы, водяные ночницы, двуцветные кожаны, бурые ушаны и ночница Натерера.

Складывается впечатление, что в средних широтах некоторые виды широко распространенных летучих мышей вообще наиболее многочисленны в лесах, где обитают дятлы. Заселение рукокрылыми лесов начинается, когда деревья достигают 25—30-летнего возраста и уже используются дятлами (выгнивающие дупла образуются позже).

В тех районах Поволжья, где сведение старых лесов привело к исчезновению дятлов (не живущих в молодой поросли), произошла заметная синантропизация летучих мышей, перебившихся из лесов в постройки человека. Дальше на юг и к Кавказу леса опять обычно заселены дятлами, и нахождения летучих мышей в постройках редки. Однако и в молодые леса можно привлечь летучих мышей (например, развешенными дуплянками), что поможет удержать их в антропогенно измененных местах.

Экология. 1998. № 5. С.412—413 (Россия).

<sup>1</sup> Kravchenko S.V. et al // Phys. Rev. Lett. 1996. V.77. P.4938—4941.

## Биоокеанология

## Необычное «цветение» моря

Год 1997-й вошел в историю исследований Мирового океана как год самой сильной с начала столетия положительной температурной аномалии в тропических районах Тихоокеанского, что привело к серьезной перестройке атмосферной и океанической циркуляции и мощнейшему явлению Эль-Ниньо. Перестройки в тропической области влияют на полярные и субполярные районы, воздействуя на экосистемы высокоширотных морей. Одним из «маркеров» такого влияния оказалось удивительное цветение вод Берингова моря одноклеточными планктонными водорослями — кокколитофоридами. Это мельчайшие жгутиковые золотистые водоросли с известковыми образованиями на стенке тела. Они достаточно обычны в тропических морях и гораздо менее многочисленны в высоких широтах.

Цветение морской воды планктонными водорослями (когда они размножаются в таком количестве, что окрашивают воду) — вещь известная. Однако обычно в цветении воды участвуют водоросли совсем других групп — диатомовые и перидиниевые (вспышки развития последних, в частности, могут вызывать печально известные «красные приливы»). В том же Беринговом море в период наибольшего развития фитопланктона в нормальные годы 95—99% его биомассы составляют различные диатомовые водоросли, достигающие численности 950 тыс. клеток/литр. Иное наблюдалось в 1997 г.

Зимнее развитие ледового покрова тогда было близко к среднемноголетнему, однако таяние по весне шло чрезвычайно быстро. Меньшее, чем обычно, число штормов

и большее — безоблачных дней привели к интенсивному прогреву поверхности моря и раннему обособлению поверхностного перемешанного слоя вод, который был крайне тонким — менее 10 м. Стратификация наблюдалась даже в мелководных (30—50 м глубины) районах моря, что необычно. К июню температура воды над шельфом была на 3° выше нормы (и аномалия сохранялась минимум до октября). Изменились особенности циркуляции вод. На этом фоне и произошла крайне необычная вспышка численности кокколитофорид, описанная сотрудниками Института океанологии РАН М.В.Флинтотом и И.Н.Сухановой.

В результате бурного развития водорослей в начале июля вода стала молочно-аквамариновой. По данным со спутника «SeaWiFS», пятно цветения достигало размеров (300×700 км<sup>2</sup>), покрывая весь юго-восточный берингоморский шельф между Аляской и о-вами Св.Матвея и Нунивак. Рыбаки и пилоты местных авиалиний наблюдали это пятно до конца октября. Толщина охваченной цветением воды составляла от нескольких метров до 50, прозрачность ее была втрое ниже обычной. Исследователи отобрали пробы молочно-аквамариновой воды вблизи о-вов Прибылова (США). Цветение к этому моменту продолжалось уже три месяца, и во всех пробах абсолютно доминировала кокколитофорид одного-единственного вида: *Emiliania huxleyi*. Общая ее численность превышала 2 млн клеток/литр, что составляло 99.8% общей численности фитопланктона. При среднем диаметре клеток 10 мкм это давало биомассу 1—1.5 мг/л (99.2% общей биомассы). Обычные доминанты этих вод — диатомовые водоросли — «ютились в оставшихся долях процента».

Цветение воды кокколитофоридами на юго-восточном шельфе Берингова моря в 1997 г. — явление (в шкале подобных для всего Мирового океана) очень крупное, по своим масштабам. Огромной была и его продолжительность (вспышки численности диатомей длятся обычно 2—4 недели). Радикальное и длительное изменение в составе базового звена пищевых цепей сказалось на всей экосистеме моря. Уже появились данные, что возврат лососей в Бристольский залив осенью 1997 г. был на 15 млн особей меньше ожидаемого. В районах, занятых цветением, отмечалась массовая гибель морских птиц. Какие изменения в экосистеме вызовет массовое оседание на дно кальция (в составе известковых скелетиков отмирающих водорослей) — нам еще предстоит узнать.

Океанология. 1998. Т.38. № 5. С.557—560 (Россия).

## Ботаника. Экология

## Второму выжить легче

Многовидовые растительные сообщества (фитоценозы) ставят множество загадок, на которые порой крайне трудно получить однозначные ответы. В последние годы в лексикон экологов прочно вошло клише «assembly rules» (правила сообщества, законы сосуществования). Совершенно очевидно, что к числу факторов, которые благоприятствуют одним видам занять свою нишу в сообществе и, напротив, исключают появление в нем других, относятся условия абиотической среды, конкуренция, влияние фитофагов и фитопатогенов, эффекты взаимной и односторонней помощи. Роль отношений благоприятствования в сообществах привлекает все большее внимание.

Шведские исследователи О. и А.Эриксоны<sup>1</sup> попытались выявить, как влияет на прорастание семян растений наличие или отсутствие ранее проросшего «соседа» и зависит ли всхожесть от размера семени.

Из состава растений сухого полустепного луга в случайном порядке были отобраны 11 видов; в эту выборку попало 10 многолетников (*Calluna vulgaris*, *Campanula rotundifolia*, *Helianthemum nummularium*, *Plantago media*, *Thymus serpyllum* и др.) и один двулетник (*Carlina vulgaris*). Средняя масса семян этих растений колебалась от 0.033 (*Calluna vulgaris*) до 61.96 мг (*Polygala vulgaris*). Эксперимент проводился в течение 11 недель в вегетационных сосудах размером (7×7×7 см<sup>3</sup>).

Исследовалось всего 10 пар видов, которые тоже формировались случайно. Каждое растение высевали в нескольких вариантах: в чистом виде; в смеси с каким-либо другим, высеянным через 3 недели после первого (со сменой очередности этих видов). Кроме того, в одном из вариантов к каждой такой паре добавлялся третий вид. Эксперимент проводился при двух уровнях обеспечения элементами питания.

Результат ошеломил авторов своей однозначностью. Размер семени на эффективность прорастания не влиял. Вероятно, это было связано с тем, что между проростками еще не успевали возникнуть отношения конкуренции, и потому преимущества крупных семян с большим запасом элементов питания не проявлялись; по этой же причине не влияла и обеспеченность ими почвы. Никак не сказывалось и добавление третьего вида. Однако в большинстве случаев семена вида, который

был высеян вторым, всходили более дружно и проростки развивались быстрее. Таким образом, вид-пионер оказывался в положении растения-няни по отношению к высеянному после него.

Авторы затрудняются объяснить причины этого явления, но предполагают, что режим благоприятствования создавался за счет аллелопатии — выделения биологически активных веществ из корешков первого вида — и влияния растения-няни на микробиологическое население «микроекосма». Для более объективной оценки роли выявленной закономерности нужны эксперименты в естественных сообществах. Однако полученные результаты интересны и сами по себе: второму сеянцу выжить проще, чем первому!

© Б.М.Миркин,  
доктор биологических наук  
г.Уфа

#### Микробиология

#### Бактерии — хранители природных памятников

На Юго-Западе США, в штатах Юта и Аризона, природа воздвигла гиганские каменные памятники самых причудливых форм. Эти останцы из песчаника, обработанного вековым воздействием ветра, солнца и воды, включены в состав национальных парков и постоянно посещаются тысячами туристов.

Причины, по которым части этих горных сооружений удалось избежать разрушения, изучали микробиолог Г.Курц и геолог Д.Нетоф (H.Kurtz, D.Netoff; Университет штата Техас, США).

На очередной конференции Американского микробиологического общества, со-

стоявшейся в Атланте, они сообщили, что песчаник в таких районах обильно заселен цианобактериями, способными осуществлять фотосинтез. Именно они защищают хрупкий песчаник от осадков и порывов ветра.

Ученые дробили на кусочки образцы породы и добавляли туда раствор бикарбоната, который служит для микроорганизмов источником углерода. Через три месяца песок приобретал отчетливо выраженную зеленую окраску за счет развития цианобактерий. Что еще важнее — отдельные песчинки как бы слипались в плотную массу, причем она становилась тем прочнее, чем зеленее был образец.

Химический анализ показал, что цианобактерии выделяют кислые полисахариды, которые связывают ионы металлов и образуют твердую матрицу. Можно предположить, что подобный процесс идет и в естественных условиях, где песчаник нередко имеет волнистую поверхность. При этом наблюдается следующая закономерность: выступающие участки такой «зыби» интенсивнее окрашены в зеленый цвет по сравнению с углубленными, иначе говоря, цианобактерии колонизируют возвышения, делая их более стойкими к воздействию стихии.

В засушливых областях Юго-Запада США образованию защитной корки препятствует, вероятно, недостаток воды, в которую могли бы переходить ионы металлов из геологических пород. Это важно учитывать при попытках искусственно оградить памятники природы от разрушения. Однако авторы полагают, что положительного результата можно добиться, разбрызгивая над ними воду, насыщенную ионами металлов.

New Scientist. 1998. V.158.  
№ 2136. P.7 (Великобритания).

<sup>1</sup> Eriksson O., Eriksson A. // Ecological Research. 1998. № 13. P.229—239 (Швеция).

Психология. Социология

**Рулетка: добро или зло?**

В США азартные игры (главным образом рулетка) разрешены местным законом лишь в трех городах: Лас-Вегас и Рино в штате Невада и Атлантик-Сити в Нью-Джерси. Владельцы казино, естественно, отстаивают их положительную роль: доходы от игорных заведений укрепляют, мол, здешнюю экономику, уменьшают безработицу, сокращая тем самым тенденцию к самоубийству. Противники азартных игр указывают на документированные случаи, когда игроки, от которых fortuna решительно отвернулась, добровольно уходят из жизни; кроме того, рулетка часто связана с неумеренным потреблением спиртного, что тоже ведет к разрушительным последствиям. Но точной статистики для всех этих факторов не существовало.

Социолог Д.Филлипс (D.Phillips; Университет штата Калифорния, Сан-Диего, США) с помощью студентов недавно проанализировал банк данных, содержащий сведения о смертях на территории Соединенных штатов за 1982—1988 гг.

Установлено, что за это время среди посетителей Атлантик-Сити, Лас-Вегаса и Рино самоубийства составили соответственно 1,9, 2,3 и 4,3% от всех смертей. Это в два-четыре раза превышает удельный вес самоубийств по другим городам США, где легализованных казино нет.

Для обычного города с таким числом жителей, как в Лас-Вегасе (около 150 тыс.), можно было в указанное время ожидать 379 случаев добровольного ухода из жизни, на самом деле их было 479. В Атлантик-Сити (население около 40 тыс.) покончили с собой 64 человека, а в среднем, по

статистике, их могло насчитываться на 23 человека меньше.

По окончательному выводу Филлипса, распространение в населенном пункте азартных заведений приводит в сумме факторов к отрицательным последствиям для здоровья и продолжительности жизни его граждан.

Science. 1998. V.27. P.373 (США).

Медицина

**В центре внимания — астма**

Ежегодно 11 декабря (начиная с 1998 г.) проводится Международный день борьбы с астмой под девизом «Помогите дышать нашим детям». Поддержку этому мероприятию оказывают Всемирная организация здравоохранения и другие международные и национальные здравоохранительные организации.

В настоящее время количество людей, имеющих проблемы с дыханием, оценивается в 100—150 млн, причем их число растет с угрожающей быстротой. Например, в Швеции больны астмой 8% населения, тогда как 20—25 лет назад насчитывалось всего 2%. В США примерно за тот же период число больных выросло на 60%. В развивающихся странах ситуация крайне неоднородная (50% заболеваний — среди детей на Каролинских о-вах, 0% — в Папуа Новой Гвинее). В среднем рост заболевания астмой во всем мире составляет 50% за десятилетие.

Среди больных астмой много детей. К побочным следствиям заболевания относится ухудшение психологического состояния ребенка: низкая самооценка, жалость к себе, проблемы в общении со сверстниками.

Главная задача Дня борьбы с астмой — разработ-

ка методов ранней диагностики, определение причин заболевания и совершенствование методов лечения. По мнению экспертов, к основным причинам астмы относятся природные и домашние аллергены, курение, малый вес при рождении, а также генетическая предрасположенность. Сильные эмоциональные переживания, физические нагрузки и даже природные условия могут усиливать астматические явления. Например, пыльца растений, поднимающаяся в воздух при ураганах, стимулирует рост заболеваний.

Перед инициативной группой по проведению Дня борьбы с астмой стоит задача привлечь к этой проблеме внимание общественных и политических деятелей. В настоящее время группа работает с министрами здравоохранения и более чем с 50 общественными организациями всех пяти континентов.

World Health Organization. Press Release № 92. 7 December 1998 (Швейцария).

Экология

**После бедствия жизнь возвращается**

Осенью 1996 г. американские зоологи Д.Спиллер (D.Spiller; Университет штата Калифорния, Дейвис) и Дж.Лосос (J.Losos; Университет им.Вашингтона, Сент-Луис, штат Миссури) провели подсчет численности различных видов пауков и ящериц на 19 малых островах Багамского архипелага. Буквально через несколько часов по завершении этой работы на Багамские о-ва обрушился мощный ураган «Лили». На следующий день, сняв свою лодку с дерева, куда ее забросила разъяренная стихия, ученые заново пересчитали пауков и пресмыкающихся, оставшихся в живых, а год

спустя повторили перепись, чтобы выяснить, как восстанавливается фауна.

Оказалось, что на различных островах это происходило по-разному. Там, где суша защищена от ветра близлежащим островом, ящерицы пострадали меньше, чем пауки, однако паукам на возобращение популяции потребовался лишь один год, тогда как численность ящериц длительное время оставалась примерно на уровне, отмеченном сразу после бури. Это подтверждает теорию, согласно которой мелкие животные, развивающиеся быстрее, возобновляют популяцию раньше, чем крупные.

На не защищенных от ветра островках практически все ящерицы и пауки погибли. Но через год пауки вернулись повсеместно, а ящерицы сумели заново заселить лишь один из таких клочков суши. По-видимому, паукам помогла их способность перемещаться с потоками воздуха, ящерицы же очень редко пересекают водное пространство.

Science. 1998. V.281. № 5377. P.695 (США).

#### Экология. Медицина

### Раздавать ли «противоатомные» таблетки?

Радиоактивный йод, поступающий при атомных взрывах и авариях в организм человека, может приводить к раку щитовидной железы (после событий на Чернобыльской АЭС отмечено 800 случаев этого заболевания).

Известно, что эффективным противодействием служит йодистый калий, который насыщает йодом щитовидную железу и препятствует поступлению в нее радио-

нуклида. В ряде европейских стран населению раздают в профилактических целях таблетки, содержащие этот препарат. Однако в США до сих пор власти отвергали подобные меры, основываясь на мнении специалистов Национальной комиссии по атомному контролю, которые более надежным считали эвакуацию населения и контроль за продуктами питания.

В июле 1998 г. комиссия большинством голосов изменила свое мнение, прислушавшись к аргументам видного юриста, который сам пострадал от рака щитовидной железы. Выступая в Кембриджском университете (Великобритания) на конференции, посвященной борьбе с этим заболеванием, он обвинил комиссию в лоббировании интересов атомной промышленности, поскольку ее представители считают, что профилактическое применение таблеток способствует росту «радиофобии» и «анти-атомных» настроений у населения. Теперь властям некоторых штатов рекомендовано раздавать таблетки с йодистым калием.

New Scientist. 1998. V.159. № 2146. P.24 (Великобритания).

#### Охрана природы

### Вольфрам – вместо свинца

В США на военных стрельбищах и в частных тирах ежегодно расходуются 700 млн. патронов, из-за чего в окружающую среду попадает не менее 2 тыс. т свинца, загрязняя и отравляя ее.

Инженеры Техасского исследовательского института в Остине (США) предложили заменить свинец в пулях другим веществом. Порошковая смесь вольфрама с гранула-

ми нержавеющей стали скрепляется эпоксидной смолой, после чего этот материал идет на изготовление пуль (патент WO 98/00462).

Вольфрам дороже свинца, зато его плотность в 1.5 раза выше и он совершенно не токсичен. Разработанный по новой технологии пуля имеет ту же массу, что и обычная, а производство ее дешевле.

В целях охраны окружающей среды вольфрам можно использовать также и в изготовлении грузил для рыбной ловли.

New Scientist. 1998. V.158. № 2129. P.11 (Великобритания).

#### Охрана окружающей среды

### Очистка почвы от радионуклидов методом фиторемедиации

В 70-х годах в районе АЭС Брэдуэлл (графство Эссекс, Великобритания) произошел прорыв подземной трубы, по которой прокачивали радиоактивные отходы, в результате чего они попали в почву. Три года спустя, после длительных и сильных дождей, содержащийся в отходах <sup>137</sup>Cs местами вышел на поверхность. Отрезки загрязненной трубы и слой почвы были изъяты и помещены в хранилище нуклидов низкой радиоактивности в Дригге (графство Камберленд). Однако недавно было обнаружено, что, несмотря на принятые меры дезактивации, удельная активность грунта все еще составляет 100 Бк/г, что существенно превышает естественный уровень.

В связи с этим Р.Селлерс (R.Sellers; государственная компания «British Nuclear Fuels») предложил посеять на загрязненных местах растения (карликовый шпинат, сахарную свеклу, индийскую горчи-

цу), которые через свою корневую систему способны впитывать нуклиды из почвы, уменьшая ее радиоактивность на 10—20%. По завершении своего жизненного цикла растения будут сжигать (пепел подвергнут анализу на радиоактивность), а затем отправят в хранилище низкоактивных радиационных отходов. В дальнейшем предполагается засеять загрязненный участок такими культурами ежегодно.

Метод, получивший название «фиторемедиация» (т.е. «растительное излучение»), проходит в настоящее время экспериментальную проверку на участке площадью 80 м<sup>2</sup>. В случае успеха он может найти применение и в других загрязненных радионуклидами местностях.

New Scientist. 1998. V.159.  
№ 2147. P.21 (Великобритания).

#### Охрана окружающей среды

### В США заработало долговременное хранилище слабоактивных отходов

С конца июня 1998 г. в районе Карлсбада (штат Нью-Мексико) начало работать Экспериментальное предприятие по изолированию отходов (Waste Isolation Pilot Plant). Это первое в мире постоянное подземное хранилище отходов ядерной промышленности. Похожие имеются в Швеции и Финляндии, но они заглублены очень незначительно, а Карлсбадское находится в соляных пластах на глубине около 600 м.

Хранилище предназначено для размещения в нем материалов с низкой радиоактивностью, т.е. не отработанного ядерного топлива (кото-

рое, как полагают, найдет себе место в недрах горы Юкка, штат Невада), а инструментов и одежды, загрязненных плутонием и другими трансурановыми элементами во время работ по производству ядерного оружия.

До недавнего времени эти загрязненные предметы находились в стальных бочках, разбросанных по 23 различным пунктам, а затем были свезены в Лос-Аламосскую национальную лабораторию, откуда и переправлены в Карлсбад.

Хотя Управление по охране природной среды США выдало разрешение на работу хранилища как постоянно действующего предприятия, общественные организации не оставляют попыток воспрепятствовать этому. В судах находятся два иска — к Управлению по охране природной среды и Министерству энергетики США — с требованием отмены разрешения. Несмотря на то что инструменты и одежда не высокоактивны (менее 0.1 кюри на 1 т), в них, указывают истцы, присутствуют плутоний и другие долгоживущие изотопы. Поэтому необходимо доказать, что Карлсбадское хранилище способно удерживать такие радионуклиды в течение тысячелетий. Созданная Национальной академией наук США специальная экспертная комиссия еще в 1996 г. пришла к выводу, что хранилище можно признать отвечающим требованиям безопасности лишь в случае, если в этом районе не будут производиться работы, связанные с бурением.

Проект по созданию данного предприятия возглавляет на протяжении 25 лет У.Уирт (W.Weart; Сандийская национальная лаборатория, штат Нью-Мексико).

Nature. 1998. V.393. № 6682.  
P.199 (Великобритания).

#### Геология. Техника

### Глубоководное бурение в 21-м столетии

На современном этапе исследований Мирового океана с помощью глубоководного бурения<sup>1</sup> пересматриваются не только стратегические планы, но и технологические аспекты. Объясняется это тем, что применяемая в настоящее время на буровом судне «ДЖОЙДЕС Резолюшн» технология, при всем ее совершенстве, имеет определенные ограничения: во-первых, состояние ствола скважины после окончания бурения зависит от механических свойств окружающих пород, что при неблагоприятных условиях затрудняет, а иногда делает невозможным проведение последующих геофизических измерений в скважине; во-вторых, она не позволяет исследовать осадочные формации, насыщенные углеводородами, поскольку лишена возможности контролировать их самопроизвольный выброс, что создает угрозу для людей и самого судна.

Современная технология промышленного бурения в морях основана на применении водоотделяющего стояка (riser), который собирается из отдельных секций труб большого диаметра на всю высоту водного столба и упирается в морское дно, а собственно буровая труба проходит внутри стояка. Между стояком и трубой циркулирует буровой раствор, который нагнетается в скважину насосами с борта судна и выполняет одновременно несколько функций: охлаждает, очищает и смазывает буровой инструмент, что особенно важно для предотв-

<sup>1</sup> Басов И.А. Программа океанского бурения на рубеже столетий // Природа. 1998. № 5. С.28—30.

ращения его «залипания» в забое скважины; укрепляет стенки скважины и стабилизирует ее ствол; выносит на поверхность буровой щепень, который является дополнительным, а иногда и единственным источником информации о разбуриваемых породах; содержит газообразные или жидкие углеводороды в тех случаях, когда их внутриформационное давление превышает давление бурового раствора, и таким образом позволяет оценить их потенциальную угрозу. Если в буровом растворе углеводороды обнаружены, то для приостановки их миграции на поверхность применяется система предотвращения самопроизвольного выброса (Blow-out Preventer). В этом случае закачивается более плотный буровой раствор, а затем в воду сбрасывается излишний газ.

После завершения в скважине необходимых геофизических исследований производится стабилизация пройденного отрезка путем цементирования стенок. Затвердевшие стенки ствола в случае необходимости могут быть перфорированы. При дальнейшем углублении и последующих операциях по цементированию стенок скважины ее диаметр прогрессивно уменьшается.

Описанная технология обеспечивает безопасность бурения в газонасыщенных формациях, но ее применение для научного бурения невозможно без решения некоторых технических проблем. Один из недостатков, например, — значительное время на сборку и демонтаж стояка: если во время этих операций наступает шторм, всю колонну труб приходится держать в подвешенном состоянии. Такая ситуация чревата обрывом и потерей колонны в случае резонанса между движениями колонны и судна. По этой причине данная технология ис-

пользуется для промышленного бурения на глубинах моря преимущественно до 1500 м. В настоящее время американские нефтяные компании приступили к конструкторской разработке буровых судов, способных вести работы в акваториях с глубинами до 2300 м. Однако применять эти суда предполагается в Мексиканском заливе, где погодные условия обеспечивают относительно безопасную операцию по сборке и демонтажу колонны.

В отличие от промышленного научное бурение в океане проводится, как правило, на гораздо больших глубинах и в районах с различными погодными условиями, в том числе и неблагоприятными. Это предъявляет повышенные требования к прочности бурового оборудования.

На конференции, посвященной перспективам океанского бурения и развития буровых технологий в начале 21-го столетия (Токио, 1997), было подчеркнута важность научное и практическое значение этих исследований, а также необходимость дальнейшего совершенствования техники таких работ.

Ныне в Японском центре морских наук и технологий (Japan Marine Science and Technology Center) изучаются возможности создания нового бурового корабля и оборудования, которые позволяли бы вести бурение в районах, ранее недоступных из-за геологических и структурных особенностей земной коры<sup>2</sup>. Новая технология, создаваемая на базе описанной выше, получила название «Ocean Drilling-21» («Океанское бурение в 21-м столетии»).

К 2003 г. планируется построить судно, снабженное

усовершенствованной техникой бурения, которая позволит вести работы по всему Мировому океану (за исключением районов, покрытых льдами). Длина стояка на первом этапе составит 2500 м, а в дальнейшем, в случае успеха, — 4000 м. Это новое буровое судно вместе с «ДЖОЙ-ДЕС Резолюшн» или с другим подобным судном, которое может прийти ему на смену, будет участвовать в реализации разрабатываемой в настоящее время «Комплексной программы океанского бурения» («Integrated Ocean Drilling Program»). Она предусматривает бурение прежде всего в пределах пассивных окраин, осадочные разрезы которых часто содержат углеводороды. Кроме того, благодаря применению новой технологии, возможно, удастся, наконец, осуществить мечту геологов и достичь поверхности Мохоровичича, т.е. геофизического раздела между земной корой и подстилающей ее верхней мантией, а это — одна из основных целей «Комплексной программы океанского бурения».

© И.А.Басов,  
доктор геолого-  
минералогических наук  
Москва

#### Метеворология

#### Спутник считает молнии

На борту японо-американского искусственного спутника Земли «ТРММ» («Tropical Rainfall Measuring Mission»), который предназначен для измерения тропических осадков, установлен датчик, регистрирующий молниевые разряды. Спутник был выведен на орбиту в ноябре 1997 г. Собранный им информацию проанализировал Х.Кристиан (H.Christian; Центр космических полетов

<sup>2</sup> Takagawa Sh. Riser Drilling Technology for Integrated Ocean Drilling Program (IODP) // JOIDES Journal. 1998. V.24. № 2. P.31—33.



им. Маршалла НАСА, Хантсвилл, штат Алабама).

Как оказалось, более 85% молний разряжается над сушей. Руководитель эксперимента объясняет это тем, что в летний сезон на суше температура более высокая, чем на поверхности океана. Это обуславливает возникновение над континентами мощных конвекционных воздушных потоков, поднимающих на большие высоты ледяные кристаллы. В результате там накапливается значительный электрический заряд, рано или поздно разряжающийся молнией.

New Scientist. 1998. V.158.  
№ 2136. P.27 (Великобритания).

Палеонтология

---

**Ископаемая свартпунция**

Канадский палеонтолог Г.М.Нарбонн (G.M.Narbonne; Королевский университет в Кингстоне, провинция Онтарио) и его коллеги из Массачусетского технологического института (США), работая на территории Намибии в Юго-Западной Африке, обнаружили ископаемые остатки существа, которое трудно причислить как к животному, так и растительному царству. Оно получило наименование *Swartpuntia*.

По своей внешней форме свартпунция напоминает нечто вроде «вращающейся двери» размером с ладонь взрослого человека. Три (возможно, более) вертикальные лопасти, несущие тонкую штриховку, прикреплены к среднему стеблю, который погружен в мягкий грунт морского дна.

Всесторонний анализ показал, что это — новый для науки представитель так называемой эдиакарской биоты, возникшей на Земле около 600 млн лет назад и вымершей в начале кембрийского периода, примерно 543 млн лет назад. Первые ее образцы еще в 40-х годах были найдены около местечка Эдиакара на территории Южной Австралии. Тогда эдиакарские ископаемые были отнесены к древнейшим животным. Но в 80-х годах немецкий палеонтолог А.Зейлахер (A.Seilacher; Тюбингенский университет) показал, что эдиакарская биота — это вовсе не животные и растения, а представители ныне полностью исчезнувшего «царства» организмов, которому он дал имя вендобионтов. Видимо, и намибийская находка должна быть причислена сюда же.

Позже Зейлахер изменил оригинальную концепцию вендобионтов и причислил их к особой группе многоклеточных животных, близких к кишечнополостным или относя-

щимся к этой группе двуслойным метазоа. Строение свартпунции служит в поддержку гипотезы Зейлахера, согласно которой отличительная черта вендобионтов — наличие в их теле многочисленных камер. Эти существа населяли мелководья и могли содержать внутри себя способные к фотосинтезу водоросли и бактерии.

Тем временем находки свартпунций множатся. Совсем недавно палеонтолог Б.М.Ваггонер (B.M.Waggoner; Университет Центрального Арканзаса, Конуэй, США), работая в южной части штата Невада, обнаружил первого их представителя на Североамериканском континенте. Автор также не находит им места среди уже известных «ветвей древа жизни».

Рассматривая причины вымирания этих существ, Нарбонн не исключает, что, будучи мягкотелыми и беззащитными, они не смогли пережить появление первых хищников; согласно другой его гипотезе, некоторые представители эдиакарской биоты в действительности существовали и в кембрийский период, но от них не осталось зримых ископаемых следов, поскольку и другие донные животные начали активно перекапывать морское дно.

Science News. 1998. V.157.  
№ 21. P.326 (США).

## Диалоги между физиком и математиком

А. А. Комар

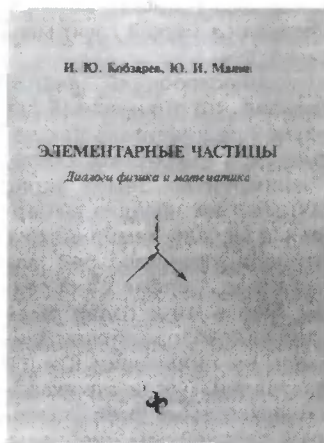
доктор физико-математических наук  
Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН  
Москва

**Э**ТО необычная книга: не специальное исследование для профессионально подготовленного читателя и в то же время никак не популярный учебник по физике элементарных частиц. Скорее всего это своеобразное эссе, в котором в свободной непринужденной манере высказывается отношение к различным этапам истории физики элементарных частиц, ее современному состоянию и еще многому другому.

Книга написана в форме диалога между Физиком и Математиком. Своеобразная, всегда эмоционально выразительная литературная форма диалога нередко использовалась в прошлом. Однако в последнее время автору рецензии не приходилось встречать этот жанр в научной или научно-популярной литературе. Впрочем, это требует достаточно высокого мастерства от пишущих, что авторы данной книги успешно демонстрируют.

Авторами действительно являются физик и математик. Игорь Юрьевич Кобзарев — физик-теоретик, известный специалист в области физики элементарных частиц, безвременно ушедший из жизни в 1991 г. Всю свою творческую жизнь после окончания вуза он работал в Институте теоретической и экспериментальной физики, много лет был членом редакционной коллегии журнала «Природа», неоднократно выступая на его страницах.

Юрий Иванович Манин — математик, специалист в об-



И.Ю.Кобзарев, Ю.И.Манин.  
ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ. ДИАЛОГИ ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА.  
М.: ФАЗИС, 1997. 208 с.

ласти алгебраической геометрии, теории чисел, математической физики; с 1990 г. — член-корреспондент РАН. Сотрудник Математического института им.В.А.Стеклова РАН, в последнее время работает в Институте математики им. Макса Планка в Бонне<sup>1</sup>.

Книга писалась в начале 80-х годов и была завершена в 1987-м. Через два года издана на английском языке в Голландии. Русское издание появилось только в 1997 г. в издательстве «ФАЗИС».

Появление книги на русском языке через десять лет после ее написания, как я надеюсь, не снизит интереса к ней российского читателя. Причин тут две. Во-первых, за прошедшие десять лет в структуре теории, описывающей элементарные частицы,

не произошло никаких радикальных изменений. Во-вторых, как видно из дальнейшего, авторы отнюдь не стремятся концентрировать свое внимание на каких-либо последних экспериментальных данных в этой области. Напротив, их гораздо больше интересуют концептуальные вопросы, общая схема построения теории элементарных частиц. А в этих направлениях никакой смены представлений за тот период не происходило.

Формально книга состоит из трех основных частей:

I. Диалоги.

II. Структура теории элементарных частиц (по существу это сжатое систематическое изложение тех представлений и понятий, которые так или иначе затрагиваются в диалогах).

III. Комментарии.

Небольшое приложение «Струны», написанное Ю.И.Маниным в 1987 г. для специального журнала, позднее вошло в текст книги. Язык приложения сложен, изложение гораздо более математизировано, и в этом плане оно несколько выпадает из общей стилистики книги.

Сказанное, однако, не означает, что чтение книги доступно любому интересующемуся и представляет легкое занятие. Участники диалогов как бы предполагают, что читатель в достаточной мере ознакомлен с кругом фактов и взглядов, являющихся предметом обсуждения, и поэтому не считают нужным делать скидку на недостаточную осведомленность.

Тем не менее я полагаю, что читатели, как работающие

<sup>1</sup> Манин Ю.И. Ватикан, осень 1996 // Природа. 1997. № 8. С.61—66.

в настоящее время в области физики элементарных частиц, так и те, кто лишь прослушал в не очень далеком прошлом курс лекций на эту тему, почерпнут для себя немало полезного и не в последнюю очередь получат истинное удовольствие от общения к интеллектуальным и остроумным беседам авторов, от нестандартного хода мысли, от неожиданных, порой философских, отвлечений и экскурсов в историю науки. Для тех же, кто хотел бы с большим пониманием следить за развитием диалогов, рекомендуем предварительно прочитать достаточно популярную книгу Л.Б.Окуня «Физика элементарных частиц», вышедшую в издательстве «Наука» в 1986 г.

Наибольший интерес для читателя, по моему мнению, представляют именно «Диалоги» и тесно связанные с ними «Комментарии». Последние содержат библиографические ссылки на публикации в журналах или на труды всемирно известных ученых и философов, сыгравших важную роль в становлении современных теорий строения материи и упоминавшихся в «Диалогах». Эти ссылки, как правило, сопровождаются интересными комментариями и нередко обширными цитатами из упомянутых работ, звучащими неожиданно свежо и уместно в наши дни.

Вторая часть, более строгая и математизированная по манере изложения, удачно дополняет остальные, предоставляя читателю возможность ощутить тот математический каркас или ту схему, на которой базируется современная теория элементарных частиц.

Особую роль в «Диалогах» играет полемика героев. Математик выступает в качестве атакующей стороны, он упрекает физиков в противоречивости их теоретических построений, а Физик, есте-

ственно, излагает мотивации физической стороны. Дополнительно в полемику время от времени включается еще один персонаж, Философ, который провоцирует основных участников беседы на высказывания более общего характера, как бы представляя в книге интересы профессионально менее подготовленного читателя. Конечно, такое распределение ролей — не более чем литературный прием, который позволяет лишь более четко обозначить позиции сторон. Очевидно, что «все участники дискуссии» достаточно хорошо представляют себе возможные ответы. Но внутренняя пружина заключается в точно угаданном различии ментальностей Математика и Физика, существующем в реальной жизни. Это различие невыдуманное и связано как с их профессиональной подготовкой, так и в немалой степени с атмосферой той среды, в которой они работают.

Для Математика четкая формулировка исходных позиций и внутренняя непротиворечивость последующих действий есть непреложное условие «доверия» к результату. Физик же на многих примерах показывает, что ведущая идея, подсказанная интуицией, может оказаться более важной, чем существование некоторых неувязок в теории или наличие внутренних противоречий в использованном математическом аппарате. Важнее всего построить конструкцию, достаточно точно и надежно описывающую физическую реальность. Это обстоятельство с точки зрения Физика позволяет закрыть глаза на некоторые сложности, существующие внутри математического аппарата, использованного в теории.

Кажущаяся «ненаучность» такого умозаключения снимается простым замечанием, к

которому Физик подготовлен длительной историей успехов и неудач в физике частиц: использованный математический аппарат может быть не вполне адекватен физике и в последующем изменен или усовершенствован. Тем самым лишний раз демонстрируется, что «нелогичные» действия физиков нередко приводят к успеху.

Описать содержание «Диалогов» непростое. Как и любая живая беседа, это подвижная материя: сюжеты могут непринужденно меняться. Но при всем этом есть темы, которые постоянно занимают собеседников и к которым они периодически возвращаются в последующих диалогах. Попытаемся наметить круг таких, наиболее часто встречающихся, вопросов.

Что такое элементарная частица? Что физик вкладывает в это понятие? Как он ее наблюдает? Эти простые на первый взгляд вопросы побуждают участников «Диалогов» обсуждать ряд далеко не простых гносеологических проблем.

Следующая тема — история открытия элементарных частиц и история атомизма как такового. Но и в этом, довольно привычном, предмете читателя ожидает ряд редко приводимых исторических фактов и интересных высказываний и достаточно неожиданная полемика относительно роли отдельных ученых в открытии первых элементарных частиц, в частности электрона и протона.

Естественно, в «Диалогах» возникает тема описания поведения элементарных частиц, сначала нерелятивистских (квантовая механика), а затем и релятивистских (квантовая теория поля — КТП). КТП, ее становление, развитие, эволюция присутствуют во многих диалогах. Квантовая теория поля — одна из наиболее сложных и

одновременно достаточно уязвимых для критики современных физических теорий. КТП — один из главных объектов нападок Математика. Критическому разбору представленный КТП (или, как любят говорить авторы книги, парадигмы КТП) посвящены многие страницы «Диалогов».

И наконец, еще одна важная тема — границы области применимости физических теорий классической механики, оптики, квантовой механи-

ки и, конечно, что больше всего занимает участников дискуссии, квантовой теории поля.

Авторы фактически решают одну грандиозную задачу подхода к анализу основных закономерностей природы. По существу это и есть главный предмет обсуждений в «Диалогах».

Его участников этот аспект специально не занимает. Они поставили задачу проанализировать, что известно о мире элементарных

частиц, и придирчиво, шаг за шагом, продвигались к цели. Сделано это живо, интересно, остроумно и как бы с определенным вызовом, авторы стремились ничего не принимать на веру, критически выяснять, что стоит за привычными терминами, словами, утверждениями. Такой стиль очень не похож на обычный стиль научных или даже научно-популярных книг и, я полагаю, будет по достоинству оценен читателями.

## НОВЫЕ КНИГИ

### Химия

А.В.Добровольский, И.Н.Талуц. СТРУКТУРА ЦИРКОНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 227 с.

Циркониевые сплавы имеют ряд важных физико-механических свойств, среди которых высокая коррозионная стойкость, прозрачность для тепловых нейтронов, хорошие геттерные и сверхпроводящие свойства и др. Возможность же с помощью легирования и термомеханической обработки изменять характеристики в широких диапазонах делает циркониевые сплавы перспективной основой для конструкционных материалов в химической и атомной промышленности. Надо отметить, что изучение фазового и структурного состояний, а также свойств различных сплавов до настоящего времени проведено недостаточно полно.

Цель книги — обобщить и систематизировать результаты исследований, посвященных фундаментальным аспектам фазовых и структурных превращений, которые

испытывают цирконий и его сплавы при различных режимах термообработки, а также под действием высокого давления и ударных волн.

### Почвоведение

Ж.Лозе, К.Матье. ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ ПО ПОЧВОВЕДЕНИЮ / Пер. с фр. И.Ф.Кузяковой. М.: Мир, 1998. 398 с.

Внимание читателей предлагается русский перевод «Dictionnaire de Science du sol», изданного на французском языке в 1986 г. В 1991 г. словарь был переиздан на английском. Английская и французская версии не совсем идентичны. Хотя набор терминов одинаков, в английском тексте были небольшие дополнения в объяснении понятий или частичные пропуски, когда это касалось различных значений одного и того же термина. В качестве оригинала при переводе на русский язык был использован французский текст.

Составленный известными почвоведцами из Бельгии и Франции словарь содержит

более 2700 терминов, в том числе аббревиатуры обозначения горизонтов, некоторые единицы измерений. Он охватывает практически все современные разделы почвоведения. Очень подробно в соответствии с западноевропейской классификацией охарактеризованы почвы, отдельные почвенные горизонты, их макроструктура и микростроение. В перечень терминов вошли многие русские слова: чернозем, солонец, солончак, каштанозем, кротовина и некоторые другие.

### Геология

И.А.Резанов. ИСТОРИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАУК О ЗЕМЛЕ. М.: Наука, 1998. 223 с.

Всекие принципы деления научных дисциплин в сущности произвольны, ибо наука, как и природа, отражением которой она является, образует одно неразрывное целое.

Вант-Гофф

Характерная особенность науки в текущем столетии — ее дифференциация на все большее число дочерних дис-

циплин. Науки о Земле разделяются на четыре группы: о твердой Земле, об океане, об атмосфере и физико-географические, изучающие взаимодействие всех агентов в пределах географической оболочки. Науки в каждой из названных групп могут быть подразделены на три типа: по уровню организации объекта исследования; по ведущему методу исследования; по составу наук, изучающих историю объекта.

В книге рассмотрены закономерности взаимодействия большой группы дисциплин, изучающих Землю, гидросферу и атмосферу, и их связи с другими естественными науками. Показана эволюция структуры наук о Земле. Намечены пути дальнейшей интеграции геологических, географических и геофизических дисциплин в условиях все усиливающегося воздействия человека на природную среду.

#### Флористика

П.Асманн. СОВРЕМЕННАЯ ФЛОРИСТИКА / Пер. с нем. Е.Я.Юдаевой. М.: Культура и традиции, 1998. 224 с.

Книга посвящена общим вопросам флористики, однако в ней рассказано и о технике работы с растениями. В Германии книга выдержала уже шесть переизданий, а общий тираж превышает 30 тыс. экз. Подробно описаны четыре стиля, в которых наиболее часто работают флористы: вегетативный, декоративный, формальный и параллельный. Приведенные примеры показывают, что сама по себе фло-

ристика не имеет границ для фантазии художника, поэтому предлагаемые решения композиций — это только варианты, которые могут стать отправной точкой для новых идей. Приведены ботанические названия тех растений, с которыми флористам наверняка доведется работать, — деревья, кустарники, водных, болотных и горшечных.

Издание иллюстрировано цветными фотографиями и графическими рисунками.

#### История науки

Л.Э.ГУРЕВИЧ: ВОСПОМИНАНИЯ ДРУЗЕЙ, КОЛЛЕГ И УЧЕНИКОВ. ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ / Под ред. В.И.Перель и Г.Г.Зегря. С.-Петербург: Институт ядерной физики им.Б.П.Константинова РАН, 1997. 352 с.

Книга посвящена памяти профессора Льва Эммануиловича Гуревича (1904—1990) — выдающегося ленинградского физика-теоретика, одного из основателей современной физической кинетики.

Издание подготовлено сотрудниками Физико-технического института им.А.Ф.Иоффе в знак особого уважения к человеку, создавшему одну из ведущих отечественных школ теоретической физики.

В первую часть вошли воспоминания учеников, друзей и коллег. Написанные в разное время и разными людьми, они по-новому рисуют облик ученого. Редакторы не сочли возможным сглаживать возникающие при этом противоречия и приводить материалы к единому стилю. Вторая часть — около 250 научных работ ученого, сгруппированных в

два раздела: по физике твердого тела и по астрофизике.

В издании сохранены используемые авторами системы единиц и их обозначения, а также транслитерация фамилий иностранных ученых.

М.И.Каганов. ШКОЛА ЛАНДАУ: ЧТО Я О НЕЙ ДУМАЮ. Троицк: ТРОВАНТ, 1998. 368 с.

Но больше всего мне понравились люди...

*М.И.Каганов*

В эту книгу собраны статьи, написанные в разное время. Есть большие научно-биографические описания, короткие заметки-воспоминания, рецензии и даже немного откровенной лирики. Многие статьи уже публиковались, некоторые печатаются впервые.

Научная жизнь автора прошла в двух институтах: Харьковском физико-техническом (УФТИ) — 21 год, в Институте физических проблем (ИФП) — 24 года. Преподавательская деятельность — в двух университетах: Харьковском и Московском.

Его Учителями были Илья Михайлович Лифшиц, Яков Борисович Файнберг, Александр Ильич Ахиезер и Лев Давидович Ландау. Последнему и посвящена книга.

В оформлении обложки использован список сдавших «теорминимум» Ландау, составленный им самим. Справа от фамилий — год сдачи и ученая степень или звание на конец 1961 г. (кандидат, доктор, член-корреспондент). Документ предоставлен Музеем П.Л.Капицы.

## «Командорша» – так называли в России Анну Кристину Беринг

П.У.Мёллер, Н.Охотина-Линд  
Институт Восточной Европы Копенгагенского университета  
Дания

**П** ОЛОВИНУ населения земного шара составляют женщины, а в исторических сочинениях им отведено гораздо меньше места, чем мужчинам. Причины этого дисбаланса не будем здесь обсуждать, зато отметим, что гораздо сильнее радость историка, когда на фоне «теней прошлого» вдруг вырисовывается изящный женский профиль. Эту радость авторам посчастливилось испытать во время просмотра в русских архивах документов, относящихся к двум Камчатским экспедициям второй четверти XVIII в., которые возглавил датчанин по рождению Витус Беринг. Через строчки многочисленных сухих указов и рапортов, отражающих сугубо мужской мир моряков и путешественников, начал все четче проступать образ женщины — преданной спутницы Беринга как по жизни, так и по — в самом прямом значении этого слова — Второй камчатской экспедиции.

### САМЫЙ КРАСИВЫЙ ДОМ ГОРОДА

В 1712 г. в Балтийский флот из Азовского был переведен Витус Беринг<sup>1</sup>, находившийся на русской службе еще с 1704 г. Мы не знаем, при каких обстоятельствах молодой морской офицер увидел впервые Анну Кристину, дочь коммерсанта Ма-

тиаса Пюльзе (русские документы того времени называют его обычно Пильсе), принадлежавшего к бюргерам Выборга. Как долго развивался роман, тоже неизвестно, но закончился он тем, что Анна и Витус, дослужившийся к тому времени до ранга капитан-лейтенанта, были 8 октября 1713 г. записаны в церковную книгу шведского прихода Выборга как законные супруги.

Пюльзе-отец был человеком небедным. Ему принадлежали лесозаготовки, лесопилка, а также морское судно «Stadt Wijburg», перевозившее солод, зерно и спиртные напитки в Ревель и Нарву. Матиас Пюльзе, как и его предки, происходил из города Ниена, на месте которого позже вырос Петербург. В 1703 г. он перебрался в тогда еще шведский Выборг. Семья жила в большом каменном доме, построенном в 1650-е годы. Это было одно из самых красивых и представительных зданий города, располагавшееся на площади перед въездом в выборгскую крепость. Дом сохранился до наших дней (современный адрес: Северный вал, д.3).

Трудно сказать что-либо о национальности Анны Беринг — Выборг того времени был по-настоящему интернациональным городом, его жители в равной мере пользовались немецким, шведским, финским языками, а после 1710 г. — и русским. Но точно знаем, что домашним языком был немецкий.

### РОЖДЕНИЕ ДЕТЕЙ И РАССТАВАНИЯ

Жена моряка должна учиться искусству расставаний. Беринга вскоре после свадьбы захватили в плен у финских прибрежных островов шведские каперы, бежать оттуда ему удалось только осенью 1714 г. Возможно, поэтому в дальнейшем Анна предпочитала сопровождать мужа в опасных путешествиях.

Из записи от 27 июня 1716 г. в метрической книге копенгагенской церкви Св.Николая мы узнаем, что супруги крестили сына, названного Витусом. Крестным отцом стал русский посол в Дании князь В.С.Долгорукий. К сожалению, мальчик не выжил, но сколько он прожил, мы не знаем.

После окончания Северной войны жизнь супругов вошла в более спокойное и размеренное русло: несмотря на морскую службу, Беринг часто бывал на берегу. Семья росла. В 1721 г. родился сын Йонас, а в 1823-м — Томас. Но в 1725 г. Витус Беринг по указанию Петра I отправлен в Первую камчатскую экспедицию, целью которой было выяснить, где Америка сошлась с Азией. Началась пятилетняя разлука, большую часть которой Анна скорее всего провела в Выборге. Здесь у нее родился второй сын — Маттиас Витус Беринг. Он крещен 14 октября 1725 г., а похоронен в феврале 1726 г.

© П.У.Мёллер, Н.Охотина-Линд

<sup>1</sup> Общий морской список. Ч.1. Спб., 1885. С.40.

*Дом М.Пюшье в Выборге (слева). Построен в 1650 г. Сохранился до наших дней.*



Среди родственников Анны важную роль сыграл ее брат Бенедикт, крупный коммерсант. В январе 1730 г. он был послан в Москву с целью добиться от властей подтверждения прав Выборга. Весьма вероятно, что Анна выехала из города вместе с братом, чтобы ускорить встречу с мужем. Мы не знаем, где и когда именно они встретились, но уже 21 сентября 1730 г. в Москве, в Немецкой слободе, в лютеранской кирхе Св.Михаила крестили их новорожденного сына Антона.

Сохранилось письмо Беринга тетушке в Хорсенс, где он пишет: «Жена моя, слава Богу, жива; из восьми детей трое живы, и скоро мы ждем четвертого»<sup>2</sup>. Письмо точно не датировано, но по содержанию ясно, что оно написано вскоре по возвращении из Первой камчатской экспедиции. Скорее всего, трое живых детей — это Йонас, Томас и Антон, и весьма вероятно, что ожидаемый четвертый — Анна Хедвига Хелена.

#### ЭКСПЕДИЦИЯ, «НИКОГДА ПРЕЖДЕ НЕ БЫВАЛАЯ»

Вторая камчатская экспедиция, отправившаяся из Петербурга в 1733 г., представляла собой по сути целую сеть экспедиций. Им предстояло исследовать все тысячекилометровое северное побережье Азии, описать тогда еще малоизученную флору, фауну и этносы Сибири, совершить плавание

через неизвестные моря к Америке и Японии, расширить и упрочить территориальные притязания Российской империи. Кроме того, они должны были заботиться о процветании торговли и улучшении условий жизни в Сибири, христианизации местного населения, заведении школ и железоделательных заводов. Ни одна другая европейская географическая экспедиция XVIII в. не была столь крупномасштабной, и во главе ее опять стоял Витус Беринг.

Многие жены офицеров решили сопровождать мужей. Анна тоже предпочла поехать с мужем, а не оставаться во второй раз соломенной вдовой. Найденные нами в Архиве внешней политики Российской империи шестнадцать частных писем семьи Берингов, написанных в Охотске, показывают, что Анна последовала за мужем вплоть до побережья Тихого океана и пробыла вместе с ним до конца лета 1740 г. Справедливости ради мы должны признать, что «сенсационность» и «новизна» этого фак-

та довольно относительны, поскольку еще в середине XIX в. в Германии было опубликовано письмо участника Камчатской экспедиции адъюнкта Академии наук Георга Вильгельма Штеллера, где говорится о пребывании Анны Беринг в Охотске<sup>3</sup>.

#### И НА КРАЮ СВЕТА МОЖНО ЖИТЬ С ИЗЯЩЕСТВОМ

Семья раскололась на две части. Старших сыновей Йонаса и Томаса поместили в пансион при гимназии в Ревеле. Младшие отправились вместе с родителями в Сибирь. Туда же поехали и Аннины клавикорды, проделавшие путь через половину Европы и всю Азию (вероятно, бок о бок с экспедиционными пушками и канатами), а потом — весь путь назад. Весьма вероятно, что Анна была первой, от кого тунгусы, якуты и другие сибирские народы услышали звуки европейской музыки. С собой

<sup>2</sup> Белов М.И. Дания и Витус Беринг // Путешествия и географические открытия в XV—XIX вв. М.; Л., 1965. С.49—50.

<sup>3</sup> Штеллер Г.В. Письма и документы. 1740. М., 1998. С.327.

были взяты и столовое бельё, и изящная фарфоровая и серебряная посуда, так что и в Сибири «Берингша», как ее обычно называли участники экспедиции, не ударила в грязь лицом перед гостями.

В октябре 1734 г., после добрых полугода пути, семейство добралось до Якутска, бывшего тогда фактически столицей Восточной Сибири. Там прошли почти три года жизни командорской четы. В сентябре 1737 г. Беринг один, без семьи, продолжил путь дальше на побережье Тихого океана, в Охотск. Анна должна была вернуться домой.

Светская жизнь Якутска носила специфический характер в силу трех доминирующих факторов: абсолютного преобладания мужчин, кромешной тьмы и трескучих морозов. Долгими зимними вечерами офицеры экспедиции и высшие чины местной администрации (все ссыльные) ходили друг к другу в гости, пили, играли в карты. Банкеты иногда оканчивались дуэлями или сочинительством пространных доносов в Тайную канцелярию. Как водится, больше всего доносчиков волновало поведение и образ жизни начальства — в нашем случае Беринга, — источники его доходов и размеры материального состояния. Беринг обвинялся, в частности, в том, что катает жену в сачок; что он (точнее, его жена Анна) похитил двух якуток — бабу и деву — и использует их для работы по дому; что нажил огромное богатство за счет экспедиции, а также в том, что гнал вино и выменивал его на пушнину. Вывод доносившего Григория Скорнякова-Писарева звучал так: «...и одним словом можно сказать, что та экспедиция напросилась в Сибирь ехать только для наполнения своего кармана, и Беринг уже и в Якут-

ку великие пожитки получил, и не худо б де было жену его, едущую в Москву, по обычаю сибирским осмотреть, чтоб явны были их пожитки». В 1738 г. Сенат дал указание Сибирскому приказу вмешаться, а тот в свою очередь поручил Тобольской таможене осмотреть всех возвращающихся из Камчатской экспедиции, и в первую очередь «Берингшу». Таможенникам, однако, пришлось ждать до 1742 г.

Как Анна сама объясняла потом в письмах к родственникам, ее планы неожиданно изменились: Беринг в Охотске тяжело заболел, и вместо того чтобы в 1738 г. из Якутска возвращаться в Петербург, ей пришлось, взяв обоих детей, спешить к мужу. Из письма Беринга от 30 марта 1738 г., отправленного из Охотска одному из своих офицеров в Якутск со служебными указаниями, мы знаем, что до Юдомского креста Анна отправлялась вместе со «скарбом» на собственном судне Беринга. Путешествие к Тихому океану оказалось полным опасностей, трудностей и драматических моментов. Переход через Юдомский крест стоил жизни многим участникам экспедиции — выносливым морякам и солдатам. Часть Аннинных лошадей по дороге пала, другие разбежались, и женщине с двумя маленькими детьми угрожал голод и холод. «Слава Господу, преодолела я все это без особенных потерь»<sup>4</sup>.

Из окна командорского дома в Охотске Анна могла наблюдать строительство судов, предназначенных для плавания в Америку — пакетботов «Св.Петр» и «Св.Па-

вел», которые были спущены на воду в июне 1740 г.

Несмотря на происходившие вокруг события, одиночество ощущалось сильно, и в письмах Анна несколько раз повторяет: «Мы живем здесь совершенно как в пустыне». К счастью, существовала почтовая связь: несколько раз в году приезжал курьер из Петербурга. Как это часто бывает в эпистолярном жанре, наиболее прилежной оказалась женщина: Анна написала больше всех и по количеству посланий и по их длине. Писала она, как и остальные члены семьи, по-немецки.

#### ЧАСТНЫЕ ПИСЬМА НА СЛУЖБЕ ИСТОРИИ

В силу загадочных обстоятельств вся пачка писем не дошла до адресатов, но сохранилась и сейчас находится в Архиве внешней политики Российской империи в Москве.

Наиболее важной проблемой, встревожившей родительские сердца, было происшедшее в тот момент событие. Девятнадцатилетний Йонас взбунтовался против более чем пятилетнего и не очень успешного пребывания в ревельской гимназии и по своему распоряжению своей судьбой: записался на военную службу в мушкетерский полк. Трогательно звучат рефреном повторяющиеся в письмах и отца и матери родительские наставления: уделять больше внимания изучению русского языка — и разговору и письменного. Вообще Беринги постоянно подчеркивают, что ради образования своих детей ничего не пожалеют.

#### 28 ФУНТОВ СЕРЕБРА

Летом 1740 г. в Охотске шли приготовления к отплытию на Камчатку, а отту-

<sup>4</sup> Okhotina Lind N., Møller P.U. Kommandøren og kongen. Arkivfund om danske deltagere i Vitus Berings Ekspeditioner. København, 1997. S.63—64.



Письмо отцу, написанное в Охотске 5 февраля 1740 г.

да — к американским берегам. Анна энергично собиралась в дорогу. Ей предстояло в очередной раз упаковать все семейное имущество для отправки на противоположный конец Российской империи. Когда Беринг 8 сентября вышел в море, «командорша» уже не махала платком вслед. 19 августа она вместе с двумя детьми выехала из Охотска на запад.

В связи с отъездом на плечи Анны ложилась тяжелая ответственность. Ей надлежало вывезти все найтвое Берингами за годы Второй камчатской экспедиции имущество, призванное обеспечить им самим и детям безбедное существование. Это было вознаграждением за годы лишения и трудностей и компенсацией за многолетнюю разлуку со старшими детьми, друзьями и с привычным образом жизни. Заглядывая вперед, можно сказать, что по сути это оказалось и ее «вдовской пенсией».

В феврале 1742 г. Анна, наконец, добралась до Тобольска, где все ее вещи подвергли таможенному досмотру, в результате которого были составлены детальные перечни содержимого. Имущество состояло в основном из товаров, купленных в Сибири, — в первую очередь пушнины и китайских тканей, а также различных серебряных предметов в общей сложности на 28 фунтов. Для дальнейшего путешествия к ней был приставлен эскорт, как было объяснено — для ее безопасности. Но сохранилась данная солдатам секретная инструкция не спускать глаз с таможенных пломб на багаже «командорши». Весь товар должен быть доставлен в Сибирский приказ в Москве, где с него полагалось уплатить налог. Из доноса

*Liebesvater Herr Papa*

26

*Einmal ist mir ein Brief geschrieben von aus Ochotski zu  
Mamae Liebe Papa, wie sind aber nicht so glücklich,  
dass wir nun in Europa waren, für schreiben von Mammae  
Liebe Papa liebsten, was für uns nicht einmal geschrieben  
was die unsere ist. Mammae wie nicht schreiben, imbarbar  
ist es uns ein Briefe. D wir zusammen von Mammae von  
Salta, wie auf den ersten Ort, d uns liebste Papa  
ausser das es geschrieben und nicht ist, und d die große Freude  
bringt, imbarbar Liebe Pappas Liebe nicht glücklich  
was es uns aber imbarbar ist, ob unsere Liebe Papa  
haben geliebt, oder auf dem ersten Tag, d es  
Berling und wir, an das Respekt v. Kothakolle posten  
Volligen Jahre gabalen Dorf, unimam Liebe Pappas  
zu Glückigen, und es mir Liebe Papa d von Mammae  
für mit 300 rube oder so viel als Liebe Papa  
Kostieren, was für uns nicht schreiben es mir Liebe Papa  
schicken was glücklich, und stellen unsere Liebe Papa  
waren mit Mammae, wir stellen Liebe Vollig leiden, als d  
wir unsere Liebe Papa Vollig leiden lassen in Mammae  
des ersten mir Liebe Papa geschrieben, und geben mir das  
glück Tag mir ausser was für, was für, was für, was für  
1741, unimam Liebe Papa zu schreiben und zu imbarbar  
Mammae zu schreiben, was für ist von mir Kommando gleich  
Mammae, in Mammae was für d Kommando  
Ochotski d. 5 Febr  
1740*

солдата Кондина, следившего за Анной, мы знаем, что она прибыла в Москву 29 марта 1742 г., остановилась в Немецкой слободе у пастора кирхи. Той же ночью она вместе с пастором таскала мешки в дом, а потом обнаружилось, что таможенные печати повреждены. В Петербург она уехала ночью 15 сентября, сразу же после визита в «дом Ея императорского величества» Елизаветы Петровны.

После смерти Витуса Беринга 9 декабря 1741 г. на необитаемом острове, позже названном его именем, офицеры послали Анне некоторые личные вещи мужа: золотые карманные часы, лич-

ную печать, серебряные башмачные пряжки с хрустальными вставками, шпату с серебряным эфесом, письма. Анна просила прислать ей ночной колпак василькового атласа, расшитый золотом, и «шляфор» (домашний халат) Витуса, но было уже поздно, эти вещи были проданы с аукциона.

Мы не знаем ни года рождения, ни года смерти Анны (или как ее именуют в некоторых официальных документах — Анны Матвеевны) Беринг. О своем возрасте она оставила сведения, приводящие исследователей в полное замешательство. В апреле 1744 г. она подала прошение о «вдовской пен-

*Liebesvater Herr Papa  
Anna Berling*

сии», где написала, что ей 39 лет. Но в таком случае получается, что она вышла замуж в 8 лет, а сына Витуса родила в 11, и если первое еще как-то можно представить, то второе уже просто никак не возможно. Почему Анна указала такой возраст в прошении, что это — женское кокетство? Как нам кажется, объяснение кроется в параграфах Морского устава о назначении пенсий вдовам морских офицеров. Женщина, овдовевшая до 40 лет, получала одновременную выплату одного полного годового оклада мужа, а овдовевшая после 40 лет или больная и не имевшая шансов вторично выйти замуж, получала пожизненную пенсию — восьмую долю последнего годового оклада мужа. С точки зрения

здорового смысла второй вариант представляется более выгодным и надежным, но надо думать, у Анны в тот момент были какие-то другие соображения: ей нужна была крупная сумма денег сейчас. Не забудем, что все ее родственники занимались коммерцией, и наверное Анна тоже хотела вложить деньги в какое-то «дело», обеспечившее бы ее старость. Но удача ей не сопутствовала, из-за бюрократических причин возникли осложнения с выплатой. В декабре 1745 г. Анна повторяет свое прошение, при этом ей все еще якобы 39 лет. И последнее, что мы знаем об Анне Беринг, — в марте 1750 г. она подает уже новое прошение, где пишет, что она стара («а ныне имею себе близ пяти-

десять лет» — поистине, эта женщина жила в каком-то эпическом времени) и больна и просит назначить пожизненную вдовскую пенсию. По иронии судьбы ей выдали один годовой оклад мужа, потому что о нем она просила в своем самом первом прошении!

Документов, относящихся к Витусу Берингу, архивы сохранили сотни килограммов, а о его жене — лишь отдельные листочки. Но удивительно — ее образ вырисовывается значительно ярче, и об Анне Беринг, ее личности и характере мы можем, кажется, рассказать сейчас намного больше, чем о самом командоре. Его характер так и остается загадкой.

Над номером работали  
Ответственный секретарь  
Ю. К. ДЖИКАЕВ

Научные редакторы  
О. О. АСТАХОВА  
Л. П. БЕЛЯНОВА  
Е. Е. БУШУЕВА  
М. Ю. ЗУБРЕВА  
Г. В. КОРОТКЕВИЧ  
К. Л. СОРОКИНА  
Н. В. УЛЬЯНОВА  
Н. В. УСПЕНСКАЯ  
О. И. ШУТОВА

Литературный редактор  
М. Я. ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор  
Т. К. ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией  
И. Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор  
Г. С. ДОРОХОВА

Компьютерная верстка  
Н. Н. КУЗЬМИН

Компьютерный набор  
Е. Е. ЖУКОВА

Перевод  
П. А. ХОМЯКОВ

Корректоры  
В. А. ЕРМОЛАЕВА  
Л. М. ФЕДОРОВА

В художественном оформлении  
номера принимала участие  
О. Г. ЧЕКИНА

Издательство «Наука» РАН

Адрес редакции:  
117810, Москва, ГСП-1  
Мароновский пер., 26  
Тел.: 238-24-56, 238-25-77  
Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 10.03.99  
Бумага типографская № 1  
Офсетная печать  
Усл. печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. 67,8 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,1  
Заказ 2322

Отпечатано в типографии  
«Наука», 121099, Москва,  
Шубинский пер., 6

# ПРИРОДА

# 4<sup>99</sup>



Золоторудное месторождение Кубака в Магаданской области — одно из богатейших месторождений мира. Компактная четкая жильная система удобна для разработки. Отдельные рудные жилы выдержаны по простиранию и падению, а главное — в них определяется устойчивое содержание золота не менее 20 г на тонну.

**Константинов М.М., Карчавец В.П. КУБАКА — ЖЕМЧУЖИНА ВОСТОКА**

Индекс 70707

