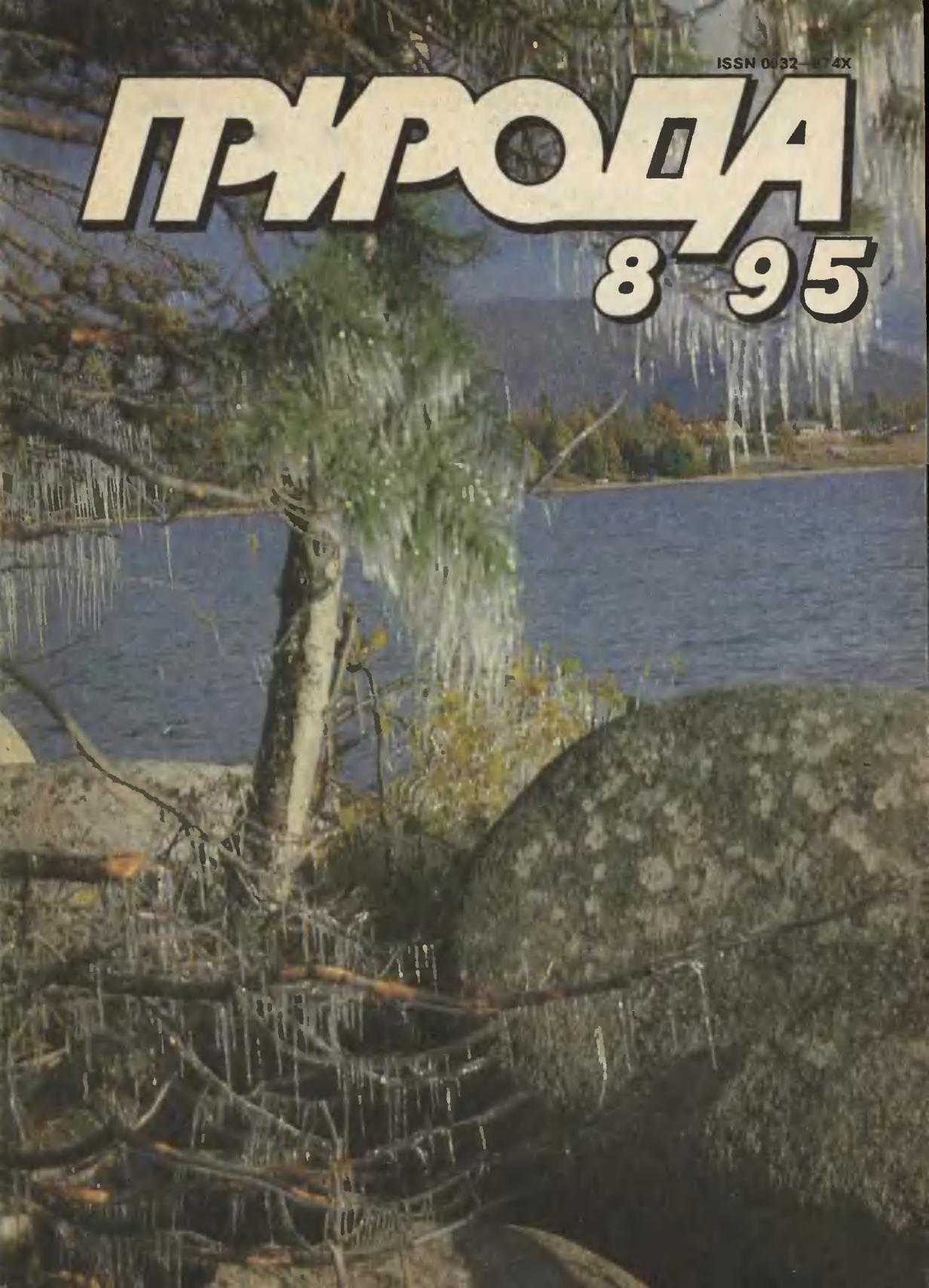


ISSN 0032-074X

# ПРИРОДА

8 95



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И.Н.АРУТЮНЯН (редактор отдела физико-математических наук), О.О.АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), кандидат химических наук Л.П.БЕЛЯНОВА (ответственный секретарь), член-корреспондент РАН Н.А.БОГДАНОВ (геология), член-корреспондент РАН В.Б.БРАГИНСКИЙ (физика), член-корреспондент РАН А.Л.БЫЗОВ (физиология), доктор географических наук А.А.ВЕЛИЧКО (палеогеография), академик АМН А.И.ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н.Н.ВОРОНЦОВ (охрана природы), академик М.Е.ВИНОГРАДОВ (биоокеанология), член-корреспондент РАН С.С.ГЕРШТЕЙН (физика), доктор географических наук Н.Ф.ГЛАЗОВСКИЙ (география), академик Г.С.ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), академик Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), академик В.А.ЖАРИКОВ (геология), член-корреспондент РАН Г.А.ЗАВАРЗИН (микробиология, экология), М.Ю.ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), академик В.Т.ИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В.А.КАБАНОВ (общая и техническая химия), Г.В.КОРОТКЕВИЧ (редактор отдела научной информации), академик Н.П.ЛАВЕРОВ (геология), Л.Д.МАЙОРОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), доктор биологических наук Б.М.МЕДНИКОВ (биология), Н.Д.МОРОЗОВА (научная информация), доктор геолого-минералогических наук Л.Л.ПЕРЧУК (геология), доктор технических наук Д.А.ПОСПЕЛОВ (информатика), член-корреспондент РАН В.А.СИДОРЕНКО (энергетика), академик В.Е.СОКОЛОВ (зоология), академик В.С.СТЕПИН (философия естествознания), академик В.Н.СТРАХОВ (геофизика), Н.В.УСПЕНСКАЯ (редактор отдела философии, истории естествознания и публицистики), академик Л.Д.ФАДДЕЕВ (математика), доктор биологических наук М.А.ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор биологических наук С.Э.ШНОЛЬ (биология, биофизика), О.И.ШУТОВА (редактор отдела экологии и химии), доктор физико-математических наук А.М.ЧЕРЕПАЦУК (астрономия, астрофизика).

НА ПЕРВОЙ И ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦАХ  
ОБЛОЖКИ. На берегу Давшинской губы  
Байкала. Заросли бадана толстолистного  
— обычного представителя лесного и  
альпийского горных поясов. См. в номе-  
ре: Чернышова Е.М. Баргузинский био-  
сферный заповедник.



Издательство «Наука» РАН

© Российская академия наук  
журнал «Природа» 1995

## В НОМЕРЕ

### 3 ЯДЕРНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО С ИРАНОМ: ВЗГЛЯД С ОРДИНКИ

Интервью с министром по атомной энергии Российской Федерации В. Н. Михайловым

### 12 Догайнов Ш. Ш., Жугова Л. Н. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ МАРСА: БОРЬБА ИДЕЙ

Открытие магнитного поля у Марса — крупное достижение отечественной космической программы. Научные результаты полетов космических аппаратов «Марс» и «Фобос» вызвали длительную дискуссию о природе наблюдаемого поля. В конце концов победила точка зрения авторов статьи: это — собственное магнитное поле Марса.

### 29 Базиловский А. Т., Аким Э. Л., Захаров А. И. «МАГЕЛЛАН» ПЛЫВЕТ К ВЕНЕРЕ

Космический аппарат «Магеллан» в октябре 1994 г. закончил свое существование, но миссия «Магеллан» в широком, не техническом, смысле слова продолжается: анализируются и осмысливаются результаты радиолокационной съемки поверхности Венеры и данных по гравитационному полю планеты.

### 45 Черников Е. М. БАРГУЗИНСКИЙ БИОСФЕРНЫЙ ЗАПОВЕДНИК

В конце XX столетия, когда угроза экологической катастрофы становится реальной, этот маленький кусочек планеты все еще сохраняет первозданную чистоту. Но проблем и здесь немало.

### 60 Несис К. Н. ХИЩНИКИ НА ЗАРЕ ЖИЗНИ

### 63 Добровольский Г. В., Куст Г. С. ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВЫ

Как поведут себя почвы в условиях нарастающего парникового эффекта: потеряют ли черноземы свое плодородие, что будет с тундровыми почвами при возможном глубоком оттаивании, адекватна ли скорость изменения почв скорости изменения климата? Ответить на эти и другие вопросы, связанные с глобальным изменением климата, — одна из важнейших задач, стоящих сегодня перед почвоведом.

### 72 Ведяев А. В., Грановский А. Б. ГИГАНТСКОЕ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЕ В МАГНИТНЫХ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМАХ

Новый гигантский магниторезистивный эффект в магнитных мультислоях и гранулированных сплавах, похоже, позволит создать новое поколение высокочувствительных микродатчиков магнитного поля.

### 80 Кренин Н. А., Чернов С. З. ПОД МОСТОВЫМИ КРАСНОЙ ПЛОЩАДИ

### 88 Никонов А. А. НЕИЗВЕСТНОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В КРЫМУ

РЕЦЕНЗИИ

### 94 Козлицев А. Г. НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ ЭТОЛОГИИ И ЭТНОГРАФИИ

### 96 НОВОСТИ НАУКИ (62)

РЕКЛАМА (44)

*«Природа» благодарит Российский фонд фундаментальных исследований за финансовую поддержку.*

*«Природа» благодарит фонд Дж. Сороса «Открытое общество» за существенную поддержку журнала и подписку на него библиотек России, других стран СНГ и Балтии.*

## IN THIS ISSUE

### 3 NUCLEAR COOPERATION WITH IRAN: A SIGHT FROM ORDYNKA

(Interview with the minister of Atomic Energy of Russian Federation V. N. Mikhailov)

### 12 Dolginov Sh. Sh., Zhuzgov L. N. THE MAGNETIC FIELD OF MARS: STRUGGLE OF IDEAS

*The discovery of martian magnetic field was one of the most important achievements of the Russian cosmic program. The scientific results obtained with the aid of space vehicles «Mars» and «Phobos» lead to a long discussion about a source of the observed field. Finally, the authors' point of view that, the intrinsic magnetic field of Mars was observed has won.*

### 29 Basilevsky A. T., Akim E. L., Zakharov A. I.

#### «MAGELLAN» SAILS TO VENUS

*The space vehicle «Magellan» ended its life at October 1994, however, the mission «Magellan» in the more general sense is continuing: the results of radiolocation measurements of the Venus surface and its gravitational field are being analyzed.*

### 45 Chernikin E. M. BARGUSIN BIOSPHERE RESERVE

*In the end of the XX-th century when the danger of ecological catastrophe becomes real, the virginity still exists in this tiny piece of our planet, but here also are many problems.*

### 60 Nesis K. N. PREDATORS AT THE START OF LIFE

### 63 Dobrovolsky G. V., Kust G. S. GLOBAL CHANGES OF CLIMATE AND SOIL EVOLUTION

*Many questions: about soil behaviour influenced by increasing greenhouse effect arise: will the black-earth lose its productivity, what will happen with the tundra soil in the process of permafrost melting, is the rate of soil formation adequate to the climate changes? They are the most important questions of soil researchers now.*

### 72 Vedyayev A. V., Granovsky A. B. GIANT MAGNETORESISTIVITY IN DISORDERED MAGNETIC SYSTEMS

*A new giant magnetoresistive phenomenon in magnetic multilayers and granulated alloys is likely to make possible the creation of new generation of high-sensitive magnetic microsensors.*

### 80 Krenke N. A., Chernov S. Z. UNDER PAVEMENTS OF THE RED SQUARE

### 88 Nikonov A. A. UNKNOWN EARTHQUAKE IN CRIMEA

#### BOOK REVIEWS

### 93 Kozlitshev A. G. AT THE CROSSING OF ETOLOGY AND ETHNOGRAPHY

### 96 SCIENCE NEWS

## Ядерное сотрудничество с Ираном: взгляд с Ордынки

Переговоры о строительстве российской ядерной электростанции в Иране и о более широком сотрудничестве в области ядерной энергетики вызвали многочисленные и порой слишком жаркие споры как на внутрисоюзном, так и на самом высоком международном уровне. Трудно не догадаться, что подогреваются они столкновением далеко не сиюминутных политических и экономических интересов многих стран. Уровень развития и надежность наших ядерных технологий, опасность их двойного применения, возможность широкого выхода России на международный ядерный рынок — эти темы активно обсуждаются мировым сообществом, политической и научной элитой нашей страны. Верная своему принципу — "информация из первых рук", — "Природа" публикует интервью с министром по атомной энергии Российской Федерации В. Н. МИХАЙЛОВЫМ, которое он любезно согласился дать нашему обозревателю И. Н. Арутюнян.



*Виктор Никитович Михайлов, министр Российской Федерации по атомной энергии, член Совета безопасности РФ, доктор технических наук, профессор. Осуществляет научное руководство Федеральным ядерным центром — Всероссийским научно-исследовательским институтом экспериментальной физики, заведует кафедрой в Московском инженерно-физическом институте. Область научных интересов — теоретическая и прикладная ядерная физика, разработка контрольно-диагностических систем ядерно-физического эксперимента. Лауреат Ленинской премии (1967) и Государственной премии СССР (1982).*

— Виктор Никитович, в последнее время средства массовой информации "набросились" на тему ядерной сделки между Россией и Ираном. Об этом мне и хотелось бы поговорить. Когда и как началась вся эта история?

— В 1989 г. между СССР и Исламской республикой Иран была подписана долгосрочная программа торгово-экономического и научно-технического сотрудничества до 2000 г. Со стороны Советского Союза ее подписал М.С. Горбачев. В программе есть шестнадцатый раздел — о сотрудничестве в области ядерной энергетики и мирного использования ядерной энергии. В соответствии с этим пунктом компетентным органам Союза было предписано подготовить соглашение и контракт. Так началось наше сотрудничество с Ираном.

Путь к поискам согласия в рамках долгосрочной программы оказался долгим. Только три года спустя были подготовлены и в 1992 г. подписаны два межправительственных соглашения: первое — о сотрудничестве в области мирного использования ядерной энергии, второе — о строительстве атомной станции на территории Ирана. Со стороны России соглашения готовились тремя ведомствами: Министерством иностранных дел, Министерством внешних экономических связей и Минатомом. От имени Правительства Российской Федерации ответственным за выполнение обоих соглашений был назначен Минатом. Иными словами, на наше министерство возложены функции исполнительного органа, каковым, собственно, и является любое министерство. Со стороны партнера по соглашениям исполнительным органом назначена Организация по ядерной энергии Ирана — ведомство, курирующее вопросы ядерной энергетики. Оно существует у них давным-давно, хотя и го-

раздо меньшее по масштабам, чем Минатом или Министерство энергетики США.

— Не могли бы вы для начала вкратце охарактеризовать подписанные соглашения? К деталям мы еще, наверно, обратимся позже.

— Особенно я хотел бы отметить первое соглашение — о сотрудничестве в области мирного использования ядерной энергии. Его разделами предусмотрены фундаментальные и прикладные исследования, подготовка и обучение специалистов, исследования по проблеме безопасности атомных электростанций, изучение накопленного опыта их эксплуатации, развитие систем поддержки и радиологической защиты, производство радиоизотопов и их применение.

Я обращаю ваше внимание на группу разделов, связанных с сотрудничеством в области топливного цикла и экологии, в области проектирования и эксплуатации ядерных исследовательских и энергетических установок, в области промышленного производства компонентов и материалов, необходимых для использования в ядерных реакторах и их топливных циклах, снятия реакторов с эксплуатации, дезактивации и обращения с радиоактивными отходами.

Кроме того, в соглашениях упомянуты исследования в области управляемого термоядерного синтеза, технологии производства лазеров и их применений, а также — двенадцатым пунктом (он более общий) — другие технологические аспекты мирного использования атомной энергии, которые стороны могут считать представляющими взаимный интерес. Так что в целом это довольно широкая программа.

— А второе соглашение — о строительстве АЭС! В статье члена-корреспондента РАН А.В.Яблокова, озаглавленной "Минатом перепутал свои интересы с национальными, подписав протокол с Ираном" ("Известия" от 2 июня с.г.), утверждается, что "министр Михайлов прямо нарушил одно из соглашений, которым разрешалось поставить в Иран два реактора средней мощности (ВВЭР-440), а не реакторы ВВЭР-1000, о которых идет речь сегодня".

— Теперь о втором соглашении — о сотрудничестве в сооружении на территории Ирана атомной станции. Там написано: "...атомной электростанции (АЭС), состоящей из двух (с возможностью расширения до четырех) энергоблоков средней мощности с реакторными установками типа ВВЭР, и ее эксплуатации". Общепринято считать "средней мощностью" 800—1000 МВт. Мощные блоки в мире — это 1400—1500 МВт, сейчас

уже делают реакторы на 1600 МВт. А 400 МВт — это малые блоки. Так что никакого нарушения соглашения нет. Пока мы договорились с иранцами о том, что будем строить 4 блока: 2 блока по 1000 МВт и 2 — по 400 МВт. И это все укладывается в ранее принятые соглашения.

В Иране не достроена немцами атомная станция в Бушире, где планировались два блока по 1200 МВт. Туда-то мы и поставим блоки по 1000 МВт. Это, как я говорил, средние блоки. И в соглашении у нас не оговорено, будут ли это ВВЭР-440 или ВВЭР-1000. Я дам вам соглашение посмотреть. Вот, читайте: "от двух до четырех блоков", ни слова про 400 МВт, просто — "средние". Мне уже много раз приходилось объяснять (не г-ну Яблокову, а другим), что существует принятая во всем мире градация.

— Правительственные соглашения обычно носят достаточно общий характер. Полагаю, кроме них существуют и другие документы, подписанные представителями России и Ирана?

— Конечно. Существуют протоколы и уже конкретные контракты. А как же иначе? По каждому переговорам составляется протокол, в котором фиксируется, о чем говорили, к чему пришли, но это "Протоколы переговоров".

Полная стоимость иранской программы по строительству АЭС составляет около 3.5 млрд. долларов. Но у нас пока подписан контракт только на один блок — других контрактов нет. Причем и он еще не вошел в силу. До конца года мы должны подписать четыре дополнения к контракту, решить часть существующих проблем. Скажем, надо принять строительную площадку. Как я говорил, строить АЭС в Бушире начинали немцы, фирма "Сименс", но после исламской революции работы были приостановлены. Площадка стоит уже 18 лет, с 1978 г. Она в неплохом состоянии, но ее нужно принять. И далее, мы должны обследовать то, что построили немцы. Они многое сделали — работы выполнены примерно на 70% по первому блоку и на 45% — по второму. Самого реактора нет, но подготовительные работы проведены в значительном объеме: сооружены железобетонные конструкции, проложено много труб, кабельного хозяйства и т.п. Мы все это должны аттестовать и принять. В октябре эту работу закончим.

— Виктор Ниютович, а зачем Ирану нужно развивать ядерную энергетику, если у них много нефти? К тому же принято считать, что в таких странах нет специалистов, способных справиться с обузданием "ядерного джина".

— Но ведь это совершенно неверно! Ядерная энергетика начала развиваться в Иране еще при шахе, и достаточно бурно. В 70-х годах у них были планы сооружения 23 атомных блоков, и два из них начали строиться — на той самой станции в Бушире. Когда немцы начинали ее строить, вопрос о том, зачем Ирану атомные станции, если у них есть нефть, не возникал. (Кстати, в Иране есть и уран, а запасы нефти хоть и велики, но, как и на всей планете, ограничены — по оценкам, их хватит на 50 лет.) Помешала этим обширным планам только исламская революция. В дело вмешалась политика, но запасы-то природных ископаемых от этого не изменились. Действительно, Иран по энергетическим ресурсам находится на третьем-четвертом месте в мире, это достаточно богатая страна. И сегодня мы слышим: пусть используют нефть... Это уж им решать, но именно Запад в прошлом показал, что Ирану все-таки экономически целесообразно развивать атомную энергетику.

Что же касается сомнений в уровне местных специалистов, ну когда говорят, что Иран — темная страна, в ней нельзя развивать атомную энергетику... Помилуйте, она развивалась еще в 70-х годах, 20 лет назад, и никто не возмущался, не боялся, что Иран слаб в научно-техническом плане, что он не сможет эксплуатировать установки. Там обучили многих специалистов, в том числе и ядерщиков. Тысячи людей закончили американские и западно-европейские университеты, да и сегодня в них учится много студентов из Ирана, в том числе по физико-математическим специальностям. Я встречал прекрасных профессоров по этим дисциплинам, молодых людей, хорошо знающих английский язык. Часть из них могла бы учиться и в наших учебных заведениях. Если мы хотим жить в мире и дружбе с соседней страной, по крайней мере некоторые из их образованных людей должны знать русский язык, нашу науку и культуру.

Я упомянул, что ядерная деятельность в Иране начала развиваться еще с начала 70-х годов. И не с сотрудничества с СССР, а при помощи Западной Европы и Соединенных Штатов. Например, США поставили и запустили там (кажется, в 1972 г.) исследовательский ядерный реактор на 5 МВт электрической мощности с высокообогащенным (93%) ураном. В начале 90-х годов этот реактор был переделан Аргентиной на сравнительно низкообогащенный уран — 20% по изотопу  $^{235}\text{U}$ . Но и это считается высоким обогащением. Градация здесь такова: все, что до 20%, — низкообогащенный уран, все, что выше 20%, — высокообогащенный. И до сих пор

этот реактор прекрасно работает. Совместными усилиями Ирана, Западной Европы и Аргентины его мощность поднята до 10 МВт, топливо по сей день на него поставляется. Я точно не могу сказать, откуда именно. Вполне вероятно, что из Аргентины, где есть чертежи американских разработчиков этого реактора.

В Иране сейчас работают два исследовательских реактора. Второй построили китайцы, тоже мощностью около 10 МВт. Кроме того, там есть четыре различные ядерные установки, где производят изотопы для достаточно широкой программы по мирному их использованию в промышленности, медицине, сельском хозяйстве. Оба реактора сегодня прекрасно работают, и топливо в достаточном количестве им поставляют или с территории Америки, или из Западной Европы. До сих пор проблем не было, вся возня началась вокруг российских проектов.

**— А сколько, по вашему мнению, нужно исследовательских реакторов Ирану! С учетом масштабов проводимых работ!**

— Какой-то верхней границы здесь не установится. Исследовательские реакторы используются как для фундаментальных, так и для прикладных исследований, например для облучения материалов. Они дают стандартизованный поток нейтронов, пучок со стабильным спектром. Облучая материалы, можно научиться придавать им новые физические свойства. Получение уникальных изотопов также требует совершенно определенного спектрального состава нейтронных потоков. У нас в стране более ста исследовательских реакторов.

Мое мнение таково: сейчас очень важно для всех стран развивать ядерную энергетику, проводить исследования. Чтобы не расходовать нефть, газ и уголь — великий дар нашей зеленой планеты, аккумулировавшей солнечную энергию за много тысячелетий. А мы сжигаем ее в топках, производя углекислый газ и, как следствие, парниковый эффект. А выбросы окислов азота, свинца и т.д., что сегодня определяет загрязнение нашей планеты.

Ядерная энергетика не использует даже кислород — в процессе ядерного "горения" он не нужен. Другое дело, что необходимо повышать ее безопасность. Сейчас во всем мире трудятся над созданием ядерных реакторов с внутренне присущей безопасностью, на которых принципиально не может возникнуть неуправляемая цепная реакция деления ядер. По самой физической схеме они не могут перейти в надкритическое состояние. Локальные аварии не исключены и на них, но все должно быть локализовано в пределах

купола реактора. Уже на самой станции, где постоянно работает персонал, радиационный фон не должен нарушаться.

В связи с ядерной программой Ирана я хотел бы отметить еще один аспект. У них сейчас большая эмиграция молодежи — студенты, обучающиеся за рубежом, там же зачастую и остаются. Чтобы привлечь образованную молодежь, страна должна иметь современный уровень вычислительной техники, ядерной физики, вести исследования по космическим проблемам. Это области, которые влекут умы молодых людей. Если в стране это не развито, если молодой человек приезжает и видит, что у него на родине "каменный век", то чего же от него хотеть? Вы сами понимаете, что такая страна не имеет будущего. Это в не меньшей степени относится и к России, где талантливая молодежь либо отъезжает за границу, либо уходит работать в коммерческие структуры.

— Если верить нашей и западной пропаганде, мир разделен на так называемые демократические страны, которым можно доверять, и страны, представляющие потенциальную опасность. Причем в зависимости от конкретной обстановки те или иные государства с легкостью необыкновенной перемещаются из одной категории в другую. Похоже, Иран сейчас считается потенциально опасным, хотя так не было при шахе. И потому Запад не хочет там развития отраслей, которые могут привести к созданию ядерного оружия. Вот и все объяснение.

— Какие основания подозревать Иран в намерении создать ядерное оружие? Наверно, не больше, чем многие другие страны, в отношении которых никакого шума на Западе не возникает. Иран в 1979 г. одним из первых подписал Договор о нераспространении ядерного оружия. Тем самым, будучи неядерной державой, он взял на себя обязательство никогда не производить ядерного оружия. И поставил всю свою ядерную деятельность под гарантии Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). В наших соглашениях с Ираном также четко определено, что ядерные объекты, как и вообще вся эта деятельность в Иране, должны контролироваться МАГАТЭ. Кроме того, дополнительно оговорено, что реэкспорт, какие-то не определенные соглашения или исполнительным контрактом операции Иран не производит и Россия имеет право их контролировать.

Наше соглашение о мирном использовании ядерной энергии, все эти 12 разделов, о которых мы уже говорили, охватывают, разумеется, весь цикл, в том числе добычу урана и рудное обогащение. Все операции с при-

родным ураном, его купля-продажа происходит через МАГАТЭ. Страны обязаны туда предоставлять соответствующие данные, и если страна подписала Договор о нераспространении, то обязательно приезжают эксперты МАГАТЭ. Они неоднократно посещали Иран, контролировали, как используются ядерные материалы. Если эти материалы идут по мирному циклу, то никаких претензий у экспертов МАГАТЭ быть не может. И не дай бог, если они увидят, что цепочка где-то прерывается (это они устанавливают по количеству материала) и идет в сторону. Все можно отследить, а в будущем, на мой взгляд, эффективность таких инспекций будет расти. Кстати говоря, я два года назад предлагал американцам разработать в рамках конверсии наших ядерных лабораторий такую программу, скажем, с Лос-Аламосской лабораторией и Арзамасом-16. Чтобы процедуры контроля и инспекции были более эффективными, чтобы можно было контролировать на основе современных процедур ядерные технологии в самых чувствительных областях.

Иран — один из исправных членов МАГАТЭ. Он позволил экспертам контролировать те объекты, которые само МАГАТЭ выбрало по предложениям, кстати, США. МАГАТЭ попросило проинспектировать отдельные участки, заводы, лаборатории. Потому что у них были сомнения, действительно ли они занимаются мирной деятельностью. Такие инспекции были осуществлены в 1992—1994 гг. Иран не возражал, а эксперты МАГАТЭ ничего подозрительного не обнаружили. Г-н Бликс, Генеральный директор МАГАТЭ, заявил, что у его организации никаких претензий к Ирану нет.

— Но ведь известно, что ядерные технологии имеют двойное применение — мирное и военное. Конечно, это относится ко многим техническим достижениям. Даже топором можно рубить деревья, а можно — и головы. Но с ядерным оружием шутки плохи, не так ли? Поэтому лучше исключить саму возможность его изготовления.

— Да, верно, даже сам уран уже может иметь двойное применение. В СССР использование урана началось с создания бомбы, и только потом мы стали развивать атомную энергетику. Вы помните, что первая бомба была взорвана в 1949 г., а первая АЭС заработала в 1954 г., пятью годами позже. Так что ядерно-активный материал уже имеет двойное применение. Делящиеся материалы — это основной компонент ядерного оружия, и они должны быть под жестким контролем, что и является заботой МАГАТЭ.

Поэтому двойные технологии начинаются в любом месте, начиная с получения ядерных

материалов. Скажем, Австралия добывает очень много природного урана, да и в Африке каждая вторая страна имеет урановые рудники, и они эти материалы продают на рынок. Есть рынок природного урана, есть рынок обогащенного урана, есть рынок услуг по обогащению. Страна, имеющая ядерную энергетику, скажем Япония, покупает где-то дешевый природный уран, дает в Соединенные Штаты, где его обогащают обычно до 20% по изотопу  $^{235}\text{U}$ . А тепловыделяющие сборки делают уже сами японцы или тоже заказывают. А в ряде случаев у себя же и обогащают. Этот рынок — разноплановый и связан именно с мирным использованием, но каждая купля-продажа обязательно должна фиксироваться МАГАТЭ, если страны подписали Договор о нераспространении. Все данные о продаже урана посылаются в МАГАТЭ, и оно уже контролирует, куда эти материалы пойдут в тех странах.

Чего же опасаются в отношении Ирана? Что они используют какие-то аспекты своей деятельности в военных целях. Я еще раз подчеркну, что в наших соглашениях соблюдены все международные законы, договоры и правила. Юридически все точно оговорено. Здесь могут быть только эмоции: а что если вдруг Иран выйдет из Договора о нераспространении? Я тогда отвечаю: давайте выработаем на международном уровне такие правила и санкции со стороны международного сообщества, вплоть до уничтожения этих объектов, что ни одной стране и в голову не придет выйти из Договора и снять инспекции МАГАТЭ по всему технологическому циклу работ с ядерными материалами.

— Ну, уничтожение объектов — вещь сомнительная. Как это сделать? Бомбить что ли страну в случае ее выхода из Договора? И потом, вот они нарабатывали плутоний, и теперь где-то в другом месте делают свою бомбу. Сколько нужно плутония, 11 кг! Могу я сделать ядерную бомбу, если вы мне подарите 11 кг плутония?

— Это — критическая масса плутония, значение которой приводится в энциклопедиях и учебниках. На самом деле можно создать условия, при которых необходимое количество делящегося вещества будет меньшим. Но я вам скажу, что от расщепляющегося материала до ядерной бомбы — дистанция огромного размера. Нужна целая промышленность. Ничего вы не сможете сделать с 11 кг плутония, только вред нанесете — себе и своим близким. Для изготовления бомбы нужна колоссальная промышленность, научно-технический потенциал. Важны не только ядерные компоненты. Тут одним наличием

материала не обойтись. Нужна специальная химическая взрывчатка, специальные детонаторы, другие неядерные компоненты ядерного оружия. Еще необходимо создать промышленность сложной инфраструктуры для переработки ядерных материалов, да еще находясь под контролем МАГАТЭ. Кстати, Иран согласен, чтобы брались радиохимические пробы на его территории, из которых будет видно, получают где-то тайком ядерные материалы или нет. Иран — одна из стран, которые добровольно на это согласились.

— Я снова процитирую высказывание А.В. Яблокова из уже упоминавшейся статьи в "Известиях". Он пишет: "Никого не должно смущать отсутствие в этом случае прямых доказательств". И далее — о том, что МАГАТЭ не обнаружило даже косвенных указаний на существование ядерного оружия у ЮАР, которая тем временем провела испытание ядерного устройства.

— Да, иногда приводят в пример ЮАР. Но эта страна никогда не ставила свою деятельность под гарантии МАГАТЭ. Она сделала это только после уничтожения своих ядерных припасов, что случилось недавно, в 1992—1993 гг. То, что у них ядерные припасы были, — это факт, но они не подписывали Договор, не ставили свою деятельность под контроль МАГАТЭ.

А вот и другой пример. Много говорили о Северной Корее. Американцы вначале утверждали, что там есть ядерная бомба, мы же говорили, что никакой ядерной бомбы нет. У них есть заводы по переработке облученного топлива. Они могут извлекать плутоний. Но сколько на сегодняшний день извлекли? Думаю, что мизерное количество так называемого промышленного плутония — десятки, пусть сотни граммов. Сейчас США настаивают на том, чтобы брать там химические пробы грунта. С Ираном таких проблем никогда не было, поэтому обвинять сегодня Иран в его ядерных амбициях просто беспочвенно. Что они думают, о чем мечтают — одному Богу известно. Каждая страна может о чем-то мечтать. Но если говорить объективно, никакой военной направленности сегодня в ядерной области у Ирана не обнаружено.

Кстати говоря, в Северной Корее первыми тревогу забили именно инспекторы МАГАТЭ, а не кто-либо другой. Когда их не пустили на тот объект, который они хотели посмотреть. Они ведь знали, где искать. В Ираке точно так же было: инспекторы МАГАТЭ обнаружили, что Ирак что-то тайком делал. Они это узнали не из статей в наших газетах.

Я считаю, что раз такие факты есть, надо усиливать эффективность контроля. Делать

его всеобъемлющим, но для всех стран. Не применять двойных стандартов, исключений. Полагаю, что страны, подписавшие Договор о нераспространении (Иран в том числе), пойдут на такие условия. Если, конечно, они будут для всех одинаковыми. Больше того, при продлении Договора о нераспространении на бессрочный период была принята Декларация о нераспространении, где четко сказано, что страны, обладающие ядерным оружием, обязаны внедрять в привилегированном порядке технологии мирного применения в тех странах, которые подписали Договор. Никаких двойных стандартов. Я утверждаю, что все, что мы делаем в Иране, соответствует международным нормам и правилам. Никаких нарушений.

— Виктор Никитович, а что вы можете сказать о центрифуге, которую Россия собиралась поставить Ирану? Насколько помнится, именно эта часть проекта рассматривалась как имеющая сугубо военное предназначение.

— Мы говорили, что сам материал уже имеет двойное применение. Соответственно, любой метод его переработки подпадает под понятие двойной технологии. Существуют разные методы обогащения. Газодинамический, когда используют системы типа сопла Лавала и разделение изотопов идет в газовой сверхзвуковой струе. Есть диффузионный метод, он требует больших затрат. А есть центрифужный метод разделения изотопов  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ .

Неважно, какой метод обогащения применяется, с любым из них так или иначе можно получать радиоактивные материалы. Но ведь центрифуги и диффузионные методы останутся и тогда, когда ядерное оружие вообще будет запрещено. Потому что атомные станции, особенно реакторы на быстрых нейтронах, требуют сравнительно высокого обогащения. Сегодня это — от 3—4% до 20%. В реакторах ВВЭР уран слабообогащен, 1,5—4,5%, в реакторах на быстрых нейтронах это значение может достигать 20%, а в исследовательских реакторах — даже 90%. Вот сейчас мы ведем с Францией переговоры, чтобы на их исследовательский реактор поставить наши материалы.

Центрифужный метод на сегодняшний день наиболее эффективен, в нашем исполнении — один из лучших в мире. Соединенные Штаты так и не смогли добиться такого уровня эффективности. Это — достижение отечественной технологии. Мы сооружаем такой завод в Китае. Китай — ядерная держава, но его деятельность не поставлена под контроль МАГАТЭ. Однако наш завод будет контроли-

роваться этой организацией. Китай на это согласился, подал заявку, эксперты МАГАТЭ уже приезжали, смотрели. Это очень важно.

Я скажу вам, что центрифужный метод сегодня имеют Германия, она не обладает ядерным оружием, Япония, она тоже не ядерная держава. Вопрос в другом: все это — технологии двойного применения, так же как сами материалы. И потому важно знать, как используются ядерные материалы — в мирных целях или в военных.

— Ну и зачем Ирану центрифуга? Для каких целей — мирных или военных — они хотят ее получить?

— С экономической точки зрения Ирану выгодно добывать свой природный уран, перерабатывать его и обогащать. Иран может передать любой стране свой уран как сырьевое сырье, в том числе Германии, России, США или Аргентине, с тем, чтобы там для них произвели соответствующие тепловыделяющие сборки для тех реакторов, которые у Ирана уже есть. (Не для тех, что мы построим, а для уже существующих.)

Собственные урановые запасы у Ирана неплохие, но руды примерно, как у нас в Средней Азии. Мы такие месторождения знаем — это очень сложные руды, с небольшим содержанием урана. По Узбекистану и Таджикистану мы знаем, как их обрабатывать. Знаем, как из них добывать уран малой себестоимости, это очень важно. Со временем, лет через сто, уран будут добывать из тех руд, которые сейчас у нас в отвале. На которые мы не обращаем внимания. Естественно, технологии будут совершенствоваться. Главное здесь, чтобы затраты были меньше той пользы, которую мы потом получим. В общем, такие руды мы знаем. И потому встал вопрос о строительстве шахты по добыче урана. Там уже работают и чехи, и китайцы, и специалисты из Западной Европы.

Иран обратился к нам по поводу шахты, а дальше естественно возникла мысль построить заводы по изотопному обогащению. Это уже высокие технологии, важные для развития страны в целом и в частности для экономии средств на покупку топлива для будущих ядерных электростанций. Мы им ответили, что вопрос о создании цикла по добыче и обогащению урана целесообразно обсуждать после сооружения хотя бы пары из намеченных блоков АЭС.

— А переработка отработавшего топлива?

— Пока такой вопрос они не ставят. Переработка отработавшего топлива по технологии гораздо сложнее. Сейчас можно говорить о подготовке элементов топлива, даже

не самих ТВЭЛов, а сырья для изготовления топлива, это уже сильно удешевляет процесс. Для изготовления ТВЭЛов нужно создавать целую промышленность, это пока трудно. И раз у них есть материал, им бы хотелось его использовать как давальческое сырье изготовителям ТВЭЛов. Скажем, с обогащением 4%. Это естественное желание, тем более что в нашем соглашении написано о топливном цикле. Поэтому я не вижу никакого злого умысла в этих устремлениях. У нас было единственное условие: сначала надо сделать шахту, завод по переработке руды, построить атомные станции, хотя бы часть, чтобы топливо действительно требовалось в больших количествах. А уж тогда рассматривать вопрос об обогащении урана.

Главная задача МАГАТЭ сегодня — это контроль, куда идут ядерные материалы, независимо от того, куплены ли они или произведены. Чтобы четко знать, как они используются, строго контролировать, какую направленность они имеют. Вплоть до атома все смотрится и считается, все цепочки просматриваются.

К сожалению, по первому соглашению, кроме небольшого контракта по рассмотрению проекта шахты, пока ничего нет. Естественно, нет контрактов ни по центрифугам, ни по строительству завода, ни по обучению специалистов. Их нет, хотя прошло три года. В общем, пока есть только один контракт на миллион долларов. Смотрим, как их руды можно оптимально перерабатывать для получения природного урана. Этот контракт истекает в конце текущего года. Если мы не уложимся в срок, контракт продолжится, но я думаю, что он завершится.

Естественно, что все, о чем идет речь на переговорах, фиксируется, как я уже упомянул, в специальных документах — протоколах переговоров.

— Так это что, в сущности — план будущих обсуждений!

— В некотором смысле да. Я не могу им дать сегодня кредиты и т.п. Я могу только обещать, что если будет развиваться сотрудничество, будут строиться атомные станции, мы готовы рассмотреть более широко все аспекты, связанные с изготовлением топлива для этих АЭС.

— По-нашему, это вы подвешиваете им морковку.

— Можете и так сказать. Конечно, если сегодня мы построим им центрифужный завод, он будет стоять, даже если они военную тематику задумывают. Он просто будет стоять. У них сейчас ничего нет, в первую очередь — своего природного урана. Руду еще

надо добыть, переработать, получить из нее природный уран, а потом уж заняться его обогащением. Это — как перспектива.

Естественно, когда мы собираемся, а это мы делаем раз в год, то проходимся по всем статьям соглашения. Говорим, вот здесь бы вам специалистов надо прислать поучиться, по топливному циклу надо бы эти аспекты посмотреть... А когда они предлагают обсудить вопрос о центрифугах, мы отвечаем, что сначала нужна шахта, завод по переработке руды. После этого можно вернуться и к центрифугам. И все попадает в протокол переговоров. Конечно, при большом желании это можно подать чуть ли не как военную сделку и изобразить, что ее остановили. Ничего такого, естественно, нет.

В любом случае строительство центрифужного завода — это длительный процесс. Даже при отсутствии всяких препятствий на это уйдет не менее 10 лет. Нам нужно еще построить два-три блока атомных станций, шахту по добыче урана, наладить рудное обогащение, выделить сам уран — закись-окись урана — из природного, перевести его в газообразную фазу. Только после этого можно использовать центрифугу. Это ведь целый комплекс, который надо возвести. И время на все это требуется немалое.

Кроме того, у нас в протоколе переговоров по поставке центрифуг написано четко, смотрите сами: "...на условиях, аналогичных условиям контрактов, заключенных Россией с фирмами третьих стран". Иного тут быть не может, и это очень жесткие условия. Мы контролируем производство помимо МАГАТЭ, как, скажем, в случае с Китаем. На объекте должна находиться наша бригада, не позволяя ничего вскрывать. Даже в случае выхода из МАГАТЭ, контроль России остается. Если контроль России будет снят, мы просто демонтируем и вывезем все оборудование.

— Если вам это позволят. Вообще какая-то гремячая смесь политики и экономики получается на этом вашем ядерном рынке.

— Я еще раз хочу повторить свою мысль, я ее не стесняюсь: Россия сегодня ничем не может завлечь своих покупателей, в то время как Запад и американцы дают кредиты. Как это происходит в Китае. Наш козырь — широкое сотрудничество в области ядерных технологий, которое поможет нашим партнерам со временем уменьшить свою зависимость от России. Любой стране это очень важно, хотя, конечно, это тоже хорошая морковка, красная тряпка, как хотите называйте. По-другому мы сегодня не зайдем рынок.

Иранский рынок в свое время был занят и развивался, в том числе и Соединенными

Штатами. Они не боялись и не стеснялись этого. Как я уже говорил, поставили даже уран 93% обогащения, а уже потом аргентинцы переделали реактор на менее обогащенный уран. А мы были замкнуты, у нас все секретность соблюдали, да и с шахом у нас таких близких отношений не было. Хотя мы с ним и дружили, но там твердо стояли американцы. Регион Персидского залива — сфера жизненных интересов Соединенных Штатов. Я понимаю их нынешнюю реакцию.

Кстати, в Иране я встретил такую вычислительную технику! Машины SUN-5, американские, последнего выпуска, которых нам не давали. Я видел прекрасные трехмерные программы счета активной зоны для реакторов, которые поставили французы, причем не когда-то там при шахе, а только что. Даже после падения шаха товарооборот США с Ираном был в 10 раз больше, чем у России. Только сейчас президент объявил эмбарго, но на мой взгляд — это тоже маневр.

— А кроме Китая есть у нас еще партнеры, интересующиеся разделением изотопов?

— Такие заводы хотят построить у себя США и Франция. Мы пока не договорились, где и как. Конечно, мне не хотелось бы строить там большие мощности, иначе собственные останутся без работы. Мы ведь зарабатываем на экспорте, у нас 20 млн. единиц деления в год. В Китае мы ставим небольшие мощности: первая очередь предусматривает 200 тыс. единиц делений в год, вторая — к 1998 г. — 300 тыс. единиц. В случае с Ираном речь может идти о 50 единицах. Они нам не конкуренты будут, а вот американцы и французы... Те хотят больших мощностей.

В Китае мы строим АЭС, на франко-китайскую станцию поставляем топливо, создаем совместные предприятия, все в комплексе, и здесь завод по обогащению является остоном нашего сотрудничества с Китаем. Если бы он сейчас отказался от строительства АЭС, то тут же и строительство завода было бы прекращено. Так и в Иране планируется. При этом в Китае есть диффузионный завод — ведь страна развивает военную программу. Но мне важно, чтобы с нашего завода на военные цели ничего не пошло — только для тех атомных электростанций, которые мы построим, до пяти блоков. Это для нас хороший заказ, долларов миллиардов на десять.

— Сообщалось, что в рамках тех же соглашений Россия продает Ирану 2000 т природного урана. Какова цель этой части сделки?

— Мы получили разрешение от Правительства продать такое количество урана, это

не самодеятельность. В 1992 г., когда Иран обратился к нам, мы спросили, зачем это нужно? Нам ответили, что хотели бы иметь давальческое сырье для обеспечения топливом исследовательских реакторов. И что поставят все это под гарантии МАГАТЭ. Опять все упирается в экономику. Ведь ТВЭЛы — дорогое удовольствие, каждый стоит около полумиллиона долларов. Это непростая штука. Конечно, тут любая экономия ощутима. А речь идет о 20% экономии, т.е. о 100 тыс. долларов на каждом ТВЭЛе! На каждой сборке. Это уже солидная сумма. И вот когда они обратились к нам, мы в свою очередь обратились в Правительство. Оно дало разрешение, это попало в протокол, но с 1992 г. мы не можем договориться о цене, потому что и контракта нет. Иранцы хотят купить по дешевке, я не могу этого сделать. Я сказал: речь может идти только о мировых ценах. И до сих пор нет договоренности. У нас разрешение действует до конца года, а потом я им ничего уже не продам. Но контракта, к сожалению, мы все равно не заключили. Они настаивали на своих низких ценах. Может быть, потому, что уран им особенно и не нужен пока.

— Какова же текущая ситуация вокруг сотрудничества с Ираном? Было много шума, как бы разоблачений, сообщалось о совместной российско-американской комиссии на высшем уровне...

— Накал страстей вокруг строительства АЭС в Иране достиг своего апогея к началу заседания российско-американской комиссии по экономическому и технологическому сотрудничеству (комиссия Гор-Черномырдин). Твердая позиция Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина, Правительства России в отношении сооружения АЭС в Бушире привела к тому, что V сессия Комиссии прошла на удивление по-деловому. Американская сторона была неузнаваема, все вопросы по сотрудничеству в области атомной энергии были решены в ходе заседаний Комиссии. Я очень удовлетворен их результатами.

Поскольку вбить клин в российско-иранское сотрудничество в области атомной энергии не удалось, на свет появился доклад Министерства энергетики США для федеральных разведывательных служб. В нем говорится о том, что десять "самых опасных реакторов" советского производства представляют собой серьезную угрозу. Речь идет о реакторах РБМК и ВВЭР, построенных в разное время в различных странах — Болгарии, Литве, России, Словакии, Украине. Конфиденциальный доклад стал достоянием гласности, содержащиеся в нем данные широко распространены

прессой. "Исследование" американских экспертов должно доказать, что российские реакторы — самые ненадежные в мире. Это — совершенная очевидная попытка убрать "несговорчивую" Россию с мирового рынка ядерных технологий.

Данные о безопасности реакторов АЭС регулярно публикуются Всемирной ассоциацией эксплуатирующих организаций. По критериям безопасности, признанным всем мировым сообществом, российские ядерно-энергетические установки находятся на достойном месте, оставив позади многие американские. Реакторы первого поколения, которые попали в "опасную десятку" в американском отчете, ежегодно аттестуются Госатомнадзором России. За прошедшие годы проведена большая работа по повышению эксплуатационной надежности и безопасности этих блоков, их модификации.

— А какова ситуация на мировом урановом рынке? Когда-то нас обвинили в том, что мы продаем уран по демпинговым ценам. Но, насколько я знаю, эти цены были не ниже себестоимости урана. Так что правила игры мы не нарушали.

— Да, это было в 1990—1991 гг., когда мы выбросили на американский рынок около 10 тыс. т. природного урана. Небольшое количество, но заметное. Они взяли себестоимость канадского урана, в которую входят их высокие зарплаты и все прочее. И конечно, получилось, что в канадской шкале наш уран шел по демпинговой цене. А по нашим ценам — нет, цена урана все-таки была выше нашей себестоимости. Но американцы не вняли объяснениям, и в 1992—1994 гг. проводилось так называемое антидемпинговое расследование. В конце концов мы пришли к соглашению, пока для нас кабальному. Как мы будем по нему работать, я не знаю. Однако у нас себестоимость получения урана тоже повышается. Электричество растет в цене, металл тоже, вообще все дорожает, приближаясь к мировым ценам. И сегодня цена получения нашего урана уже приличная.

К таким ситуациям надо привыкать — это рынок. Поблажек там ждать не приходится. Но мне неприятно лицемерие, с которым говорят одно, а делают совершенно иное. Из-за этого расследования мы потеряли 450 млн. долларов. Мы эти деньги могли честно заработать, нам не нужны подачки, но продать наш уран не дали. С помощью, так сказать, внеэкономических, вне рыночных методов. Американцы контролируют около 50% рынка, это очень серьезное присутствие. Потому что США, в отличие от Советского Союза, сразу же после появления у них атомной про-

мышленности вышли на рынок. Как только в мире начали внедрять ядерную энергетику. Россия же за своим железным занавесом все копила. И накопила такие колоссальные запасы! Я вот и мечтаю, чтобы Минатом вышел по экспорту на уровень до 3 млрд. долларов в год. В прошлом году мы имели 1.2 млрд. В этом году, думаю, на полтора миллиарда потянем. Если мы дойдем до 3 млрд., то переживем все колебания с бюджетом.

— А что, часть этих денег все-таки достается Минатому? Или опять все уходит в бездонный государственный карман?

— Все зарабатывают наши предприятия. Те, которые занимаются экспортом своей продукции. Предприятия платят налоги с прибыли и отдают Министерству 1.5% на фундаментальный НИОКР и 3% для решения конверсионных проблем. Мы берем эту часть прибыли, иногда и в виде валюты, в наш централизованный фонд. А 4.5% от 1.2 млрд. — это 54 млн. долларов в год, что достаточно, например, для закупок вычислительной техники.

— В заключение один более общий вопрос, навеянный заголовком в "Известиях": какими вы видите интересы вашего министерства в контексте национальных интересов?

— Минатом сейчас — одно из ведомств, определяющих и национальную безопасность России, и ее будущее. У нашего народа есть основа для свободного выбора своего пути развития. Но сильная Россия мало кому нравится. Не зря министр обороны США г-н Перри сказал недавно на съезде американских легионеров о том, что ядерный комплекс России подобен гидре из древнегреческой мифологии, у которой мало отрубать щупальцы с помощью ОСВ-1, ОСВ-2 — они все равно прорастут. Ее надо уничтожить полностью. А атомная промышленность — одна из тех областей, где наши технологии превосходят американские или западно-европейские. Очень многие их технологии, среди которых есть жизненно важные. В том числе и в ядерно-оружейном комплексе. И они это прекрасно понимают. Поэтому уничтожить Минатом — это окончательно добить Россию. Полностью раздавить. Навсегда.

— Хочется верить, что не случится ни того, ни другого. И надеяться, что отрасль, которую вы возглавляете и которая сейчас отмечает свой 50-летний юбилей, будет и впредь занимать достойное место в мировой науке и технике, завоевав к тому же прочие позиции на мировом рынке. Мы поздравляем вас и ваших коллег.

# Магнитное поле Марса: борьба идей

Ш. Ш. Долгинов, Л. Н. Жузов



*Шмая Шлемович Долгинов, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН). Область научных интересов — магнитометрия, геомагнетизм, сравнительная планетология, теория динамомеханизма. Научный руководитель магнитных исследований с ИСЗ (ИСЗ-3, «Электрон-2, -4», «Космос-26, -49, -321»), а также вблизи Луны, Венеры и Марса. Лауреат Ленинской премии (1960).*



*Лев Николаевич Жузов, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник того же института. Занимается исследованиями магнитных полей с космических аппаратов.*

**И**ССЛЕДОВАНИЯМИ магнитных полей с космической станции «Луна-2» было положено начало генеральной магнитной съемке планет Солнечной системы аппаратами СССР и США. С этими исследованиями связывались надежды, что в пределах сравнительной планетологии удастся решить спорные проблемы внутреннего строения планет земной группы, проблемы динамо-теории, призванной объяснить происхождение магнитного поля Земли и других планет.

Данные сейсмоки принесли основополагающие сведения о строении Земли, в частности, о существовании ее внешнего жидкого и внутреннего твердого ядер.

Для решения проблемы происхождения магнитного поля Земли экспериментальное доказательство существования жидкого ядра у нее приобрело особое значение в связи с замечательной догадкой Дж. Лармора о механизме генерации магнитных полей Солнца, высказанной в 1919 г. Согласно этой гипотезе, движение солнечного вещества, обладающего высокой проводимостью, должно приводить к генерации магнитных полей по некоторой аналогии с тем, как это происходит в динамо-машине с самовозбуждением. Хотя идея динамо-механизма генерации магнитных полей оказалась плодотворной при объяснении магнитных полей планет, звезд, галактик<sup>1</sup>, ее конкретное приложение к геомагнетизму встретилось с большими трудностями. В

© Долгинов Ш. Ш., Жузов Л. Н. Магнитное поле Марса: борьба идей.

<sup>1</sup> Зельдович Я. Б., Рузмайкин А. А. Гидромагнитное динамо как источник планетарного, солнечного и галактического магнетизма // Успехи физ. наук. 1987. Т. 152. Вып. 2. С. 263—284.

значительной мере это было связано с тем, что имелись противоречивые представления о химическом составе, вязкости и проводимости жидкого земного ядра. Оставался под вопросом также сам принцип «мотора» планетарной динамо-машины и источник ее энергии.

Наиболее детально геофизики обсуждали три возможных механизма динамо-процесса в Земле:

1. Необходимое для генерации магнитного поля турбулентное течение жидкости в ядре возбуждается внешними гравитационными силами Солнца и Луны, приводящими к прецессии Земли, ее ядра и приливным течениям в жидком ядре<sup>2</sup>;

2. Двигателем земной динамо-машины служит гравитационная сепарация веществ бинарного расплава ядра, при которой тяжелая фракция (железо) оседает, пополняя твердое ядро, а легкая (кремний) всплывает под действием архимедовой силы<sup>3</sup>;

3. В ядре действует тепловая машина за счет энергии, выделяющейся предположительно при продолжающемся остывании и кристаллизации жидкого ядра, роста внутреннего твердого ядра<sup>4</sup>.

После того, как измерениями с аппаратов «Венера-4» и «Маринер-5» было установлено практическое отсутствие магнитного поля у Венеры, планеты земной группы, в фокусе всех упомянутых дискуссионных проблем оказался Марс. В преддверии первого полета космического аппарата к Марсу («Маринер-4») делались прямо противоположные прогнозы относительно возможного магнитного поля этой планеты.

Почти одинаковые угловые скорости вращения Земли и Марса, а также предположение о доминирующей роли в динамо-процессе силы Кориолиса делали весьма вероятным наличие у Марса достаточно интенсивного поля, хотя и меньшего, чем у Земли<sup>5</sup>.

К обратному заключению пришел С. Н. Брагинский, считая, что механизм, поддерживающий геодинамо (гравитационная сепарация вещества в ядре), в меньшей по размерам планете давно завершился и Марс в современную эпоху не может иметь динамо-поля.

### ПЕРВЫЕ ПОЛЕТЫ К МАРСУ

Космический аппарат «Маринер-4», двигаясь по пролетной орбите, 15 июня 1965 г. прошел на расстоянии -13 тыс. км от центра, на утренней стороне планеты, не обнаружив признаков собственного магнитного поля. Однако возникли предположения, что аппарат пересек ударный фронт, а это могло и быть, и не быть признаком существования собственного поля. Если считать пересечение фронта таким признаком, то интенсивность дипольного поля оценивалась в -40 нТл на поверхности у экватора<sup>6</sup>. Столь малая интенсивность для «быстро» вращающейся планеты представлялась неправдоподобной, и поскольку флуктуации поля, воспринятые как ударный фронт, встречались и далеко от планеты, в межпланетном пространстве, то утвердилось мнение об отсутствии у Марса собственного дипольного поля. Это мнение нашло отражение в статье «Марс» в Новой Британской энциклопедии (1973), а на американских космических аппаратах, направлявшихся к Марсу после «Маринера-4» («Маринер-9», «Викинг-1, -2») магнитометры не устанавливались.

<sup>2</sup> Malkus W. V. R. Precession of the Earth as the Cause of Geomagnetism // Science. 1968. V. 160. № 825. P. 11—16.

<sup>3</sup> Брагинский С. Н. Магнитогидродинамика земного ядра // Геомагнетизм и аэрономия. 1964. Т. 4. № 4. С. 898—916.

<sup>4</sup> Verhoogen J. Thermal Regime of the Earth's Core // Phys. Earth and Planet. Interiors 1973. V. 7. P. 47—58.

<sup>5</sup> Kern J. W., Vestine E. H. Magnetic Field of the Earth and Planets // Space Science Rev. 1963. V. 2. № 1. P. 136—170.

<sup>6</sup> Dryer M., Hackman G. R. Application of the Hypersonic Analog to the Standing Shock of Mars // Solar Phys. 1967. V. 2. P. 112—117.

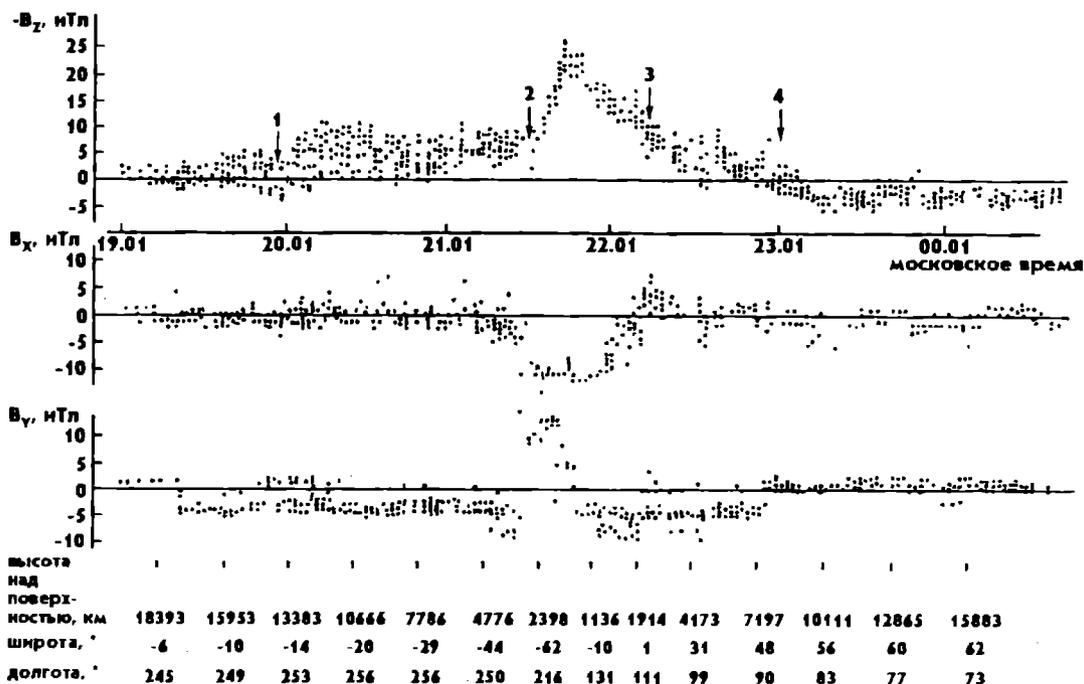


Рис. 1. Компоненты магнитного поля Марса в солнечно-эклиптической системе координат (наблюдения «Марса-3» 21.01.1972 г.). Выделенные моменты времени обозначают: 1 — пересечение ударного фронта на нисходящей ветви траектории; 2 — встреча с препятствием; 3 — выход из зоны препятствия на восходящей ветви; 4 — пересечение ударного фронта. В интервале 1—2 и 3—4 аппарат находился в переходной области между ударным фронтом и препятствием, а в интервалах 2—3 — в зоне препятствия, т. е. в собственном магнитном поле.

По-видимому, осталась незамеченной мысль английского геофизика Дж. И. Мак-Дональда, высказанная им еще до полета «Маринера-4», что нельзя ожидать интенсивного магнитного поля у планеты Марс, если к динамо-механизму имеет отношение прецессия планеты. Были необходимы измерения с близких расстояний от поверхности на дневной стороне Марса, а также с орбиты с малым наклоном к плоскости экватора планеты на ночной ее стороне. Такие измерения удалось осуществить впервые с космических аппаратов СССР «Марс-2, -3» (1972) и «Марс-5» (1974).

Космические аппараты «Марс-2, -3» были выведены на орбиты искусственных спутников Марса в 1971 г. «Марс-2» вращался вокруг оси, близко совпадавшей с направлением на Солнце, а «Марс-3» имел трехосную ориентацию. На обоих аппаратах были установлены трехкомпонентные феррозондовые магнитометры с диапазоном измерений  $\pm 60$  нТл и разрешением 1 нТл (1 нТл =  $10^{-5}$  Гс), а также приборы для измерения параметров плазмы: «ловушки» для электронов и ионов (руководитель К. И. Грингауз) и электростатический анализатор энергии ионов (руководитель О. Л. Вайсберг).

21 января 1972 г. с борта «Марса-3», обогнавшего «Марс-2» при подходе к планете, поступила первая информация о магнитном поле Марса — историческая магнитограмма (рис. 1).

Уже была хорошо известна картина пересечения границы земной магнитосферы космическим аппаратом с трехкомпонентным магнитометром на борту, и это позволило распознать модельно подобную картину марсиан-

ской магнитосферы при пересечении ее границы на восходящем и нисходящем участках траектории «Марса-3». На магнитограмме видно, что спокойное поле солнечного ветра резко изменилось, т. е. произошло пересечение ударного фронта (момент 1 на рис. 1), и оно стало турбулентным с увеличенными по интенсивности компонентами. Это свойственно переходной зоне между ударным фронтом и препятствием (область 1—2). Легко узнается на магнитограмме и само препятствие (область 2—3) — возрастающее по интенсивности регулярное (лишенное турбулентности) магнитное поле в компоненте  $B_z$  (почти перпендикулярной плоскости эклиптики) и усиленное поле в двух других компонентах, резко изменивших свое направление. Максимальная интенсивность была отмечена вблизи перицентра орбиты аппарата.

Естественно было предполагать, что поле деформировано солнечным ветром, ограничено с дневной стороны и образует шлейф на ночной стороне. Орбита «Марса-3» имела большой эксцентриситет, и из-за возмущения Солнцем ее перицентр удалялся от поверхности Марса. В последующих сеансах связи со спутником «Марс-3» (6.04 и 18.04 1972 г.) были отмечены пересечения ударного фронта, но спутник не пересекал магнитосферу Марса. Данные о его магнитном поле продолжали поступать со спутника «Марс-2» каждый раз, когда устанавливалась связь с этим аппаратом. Один из датчиков был ориентирован почти параллельно оси вращения спутника, что делало известной ориентацию компоненты поля, измеряемой с его помощью. Показания двух других датчиков позволяли определить модуль компоненты поля, примерно перпендикулярной направлению на Солнце. Особо интересным, принесшим важнейшее доказательство собственной природы обнаруженного поля и сведения о характере его взаимодействия с солнечным ветром, был сеанс непрерывных измерений одновременно с обоих аппаратов 23—24.02.1972 г., в котором

впервые был обнаружен шлейф марсианской магнитосферы и результаты которого всесторонне были оценены позднее.

Таким образом, анализ уже первых данных привел авторов магнитного эксперимента к заключению, что планета Марс обладает собственным магнитным полем, которое, как и геомагнитное, деформировано под воздействием солнечного ветра. Это заключение было поддержано Грингаузом, — по итогам измерений электронной и ионной компонент плазмы при помощи «ловушек Фарадея», расположенных на солнечной и теневой сторонах спутника.

Исчезновение солнечной плазмы по данным «ловушек» подтверждало, что спутники внедрялись в магнитосферу планеты, но эта информация не несла сведений о природе поля. Подобное исчезновение плазмы наблюдалось и при проникновении в индуцированную магнитосферу Венеры, не имеющей собственного поля, что стало известно позднее. В пользу собственной природы магнитного поля Марса свидетельствовала большая высота границы магнитосферы над его поверхностью на солнечной стороне по сравнению с границей индуцированной магнитосферы Венеры, а также резкое изменение ориентации компонент поля, перпендикулярных направлению на Солнце. Такие особенности не были свойственны венерианской магнитосфере.

Этим экспериментальным фактам был противопоставлен другой — обнаружение по показаниям электростатического анализатора тяжелых ионов (частиц ионосферного происхождения) в переходной зоне между ударным фронтом и границей магнитосферы. Вайсберг интерпретировал этот факт как доказательство непосредственного взаимодействия солнечного ветра с ионосферой Марса, солнечной природы наблюдаемого магнитного поля и венерианского типа взаимодействия солнечного ветра с планетой.

От бортовых приборов, особенно плазменных датчиков, поступало больше информации о пересечениях удар-

ного фронта, чем о пересечениях магнитосферы. Поэтому в поисках доказательства «за» и «против» наличия у Марса собственного магнитного поля анализировалась высота положения ударного фронта. Из наблюдений земной магнитосферы известно, что высоты ударного фронта и границы магнитосферы (магнитопаузы) зависят от динамического давления солнечного ветра, и при большой набранной статистике вошли в обиход понятия «среднее положение ударного фронта», «среднее положение магнитопаузы» при наиболее часто встречающихся давлениях солнечного ветра вблизи Земли. Плазменные эксперименты «Марса-2, -3» не несли информации о динамическом давлении солнечного ветра, а число пересечений ударного фронта и границы магнитосферы в измерениях было мало. В отсутствие надежной статистики наибольшее значение для понимания характера взаимодействия солнечного ветра с планетой Марс имели случаи пересечения ударного фронта на больших высотах от поверхности, что могло соответствовать низким значениям динамического давления солнечного ветра, как справедливо указал Грингауз. Однако случилось другое: в качестве критериев были привлечены средние значения высот пересечений ударного фронта. При крайне малом числе наблюдений они имели не больше смысла, чем средняя температура больных в больничной палате. Дискуссия становилась более эмоциональной и вела к двум противоположным заключениям:

— обнаруженное поле Марса индуцировано солнечным ветром в ионосфере планеты;

— Марс обладает собственным магнитным полем, которое, как и геомагнитное поле, взаимодействует с солнечным ветром.

Позднее стало ясно, что наличие собственного магнитного поля Марса, которое деформировано, как и геомагнитное, солнечным ветром, совместимо с присутствием в переходной зоне частиц ионосферного происхождения. Такие частицы обнаружены в переход-

ной зоне магнитного поля Земли при сильном обжати магнитопаузы солнечным ветром. Ускоренные частицы через каспы<sup>7</sup> земной магнитосферы попадают в переходную зону. В высоких широтах наблюдается непрерывная утечка плазмы магнитосферного происхождения — полярный ветер. Тем не менее, тогда ионы ионосферного происхождения в марсианской переходной зоне противопоставлялись модели Марса с собственным магнитным полем.

Перечисленные факты позволили одному из авторов заявить об обнаружении магнитного поля Марса<sup>8</sup>. При этом малая интенсивность дипольного поля объяснялась динамо-процессом в жидком ядре планеты, приводимым в действие внешним гравитационным полем, вызывающим прецессию планеты. Меньшая, примерно в 8 раз, скорость прецессии, примерно в 30 раз меньший объем ядра, более глубокое его расположение и меньшая электрическая проводимость (по сравнению с Землей) приводят к меньшей интенсивности дипольного поля на поверхности при одинаковых с Землей угловых скоростях вращения и амплитудах прецессии. Позднее эти исследования привели к разработке «численного закона» магнитных полей планет по модели прецессионного динамо.

В дискуссию о природе обнаруженного магнитного поля вблизи Марса включились зарубежные исследователи. В публикации 1975 г. М. К. Уоллис<sup>9</sup> выразил несогласие с интерпретацией авторами магнитных экспериментов «Марса-2, -3». В магнитограмме «Мар-

<sup>7</sup> Каспы — это области на дневной магнитосфере Земли, отделяющие силовые линии, которые замкнуты на дневной стороне, от силовых линий, уносимых солнечным ветром на ночную сторону. На Земле эти области расположены на широтах зоны полярных сияний (см. рис. 4, а).

<sup>8</sup> Dolginov Sh. Sh. Magnetic Properties of the Mars. (A report for general Assembly IAGA, Kyoto, September 1973) // Preprint IZMIRAN. 1976. № 17.

<sup>9</sup> Wallis M. K. Does Mars Have a Magnetosphere? // Geophys. J. Roy. Astronom. Soc. 1975. V. 41. № 3. P. 349—351.

са-3» (см. рис. 1), по его мнению, ударный фронт пересечен не в момент 1, а в момент 2. Иррегулярное поле между точками 1 и 2 — не переходная зона между ударным фронтом и препятствием, магнитосферой Марса, а колебания вверх по потоку от ударного фронта. При такой трактовке Уоллис находил согласие между магнитограммой и ионограммой, приведенной Вайсбергом. Ошибочность этого подхода была доказана позднее. Имелись и противоположные интерпретации магнитограммы — в предположении собственного поля — например, Н. Нессом и С. Бауером в докладе НАСА от 1974 г. Возможность окончательно решить проблему природы обнаруженного вблизи Марса магнитного поля связывали с дополнительными исследованиями на ночной стороне планеты со спутника «Марс-5» (1974 г.).

#### ЭКСПЕРИМЕНТ «МАРСА-5»

Аппарат «Марс-5» был выведен 12.02.1974 г. на орбиту вокруг Марса, наклоненную к экватору планеты под углом  $-36.3^\circ$ , высотой в перигентре 1700 км, а в апоцентре — 20570 км.

Основная информация о магнитном поле была получена на ночной стороне планеты в 11 сеансах разной продолжительности при различном давлении солнечного ветра. Магнитограммы «Марса-5» принесли решающее, необходимое и достаточное доказательство существования собственного магнитного поля Марса: сохранение полярности компонент поля в области магнитосферы планеты при изменении полярности всех компонент межпланетного магнитного поля (ММП). Эти особенности отражены во всех магнитограммах «Марса-5», но наиболее ярко выявились при сравнении магнитограмм от 13.02 и 20.02 1974 г. (рис. 2). По измерениям вблизи земной магнитосферы известно, что полярность компонент ММП до ударного фронта и за ним, в переходной зоне, сохраняется, но поле усиливается. Поэтому об изменении полярности

ММП удобнее судить по измерениям в области 1—2. Из магнитограмм, представленных в солнечно-эклиптической системе координат, следует, что 13.02  $V_x$  и  $V_y$  образуют спираль, направленную «от Солнца», и  $V_z$  направлена к югу, а 20.02 спираль  $V_x$  и  $V_y$  направлена «к Солнцу» и  $V_z$  — к северу.

В области же 2—3 все компоненты сохранили свою полярность. Падение плотности и расширение энергетического спектра плазмы в этой области указывало, что спутник внедрился в магнитосферу планеты, в ее шлейф на ночной стороне. Изменение знака ММП в это же время было подтверждено данными, полученными на приполярных наземных станциях. Отметим, что факт независимости знака поля в шлейфе Меркурия от смены знака ММП позднее был решающим при доказательстве существования собственного магнитного поля у этой планеты по данным «Маринера-10» (3-й пролет, 1975 г.).

Другой важнейший результат эксперимента «Марс-5» был получен с помощью магнитограммы от 20.02. В этом пролете была «задета» южная связка магнитного шлейфа, пересечен нейтральный слой, а затем спутник двигался в северной связке силовых линий шлейфа. Их полярность соответствовала диполю, северный магнитный полюс которого находится в Южном полушарии планеты. Это позволило определить истинную ориентацию марсианского диполя и в дальнейшем отказаться от «условной» ориентации, принятой по данным анализа магнитограммы 21.01.1972 г. («Марс-3»), в соответствии с которой считалось, что северный полюс магнитного диполя расположен в Северном полушарии планеты. Перигентр орбиты «Марса-3» находился на широте  $-62^\circ$ . Более обоснованно было бы предположить, что измерения выполнены этим спутником в области выше каспа, так как в миниатюрной магнитосфере Марса каспы расположены на меньших широтах, чем в земной. Для окончательного решения вопроса о полярности диполя необходимо было привлечь данные об

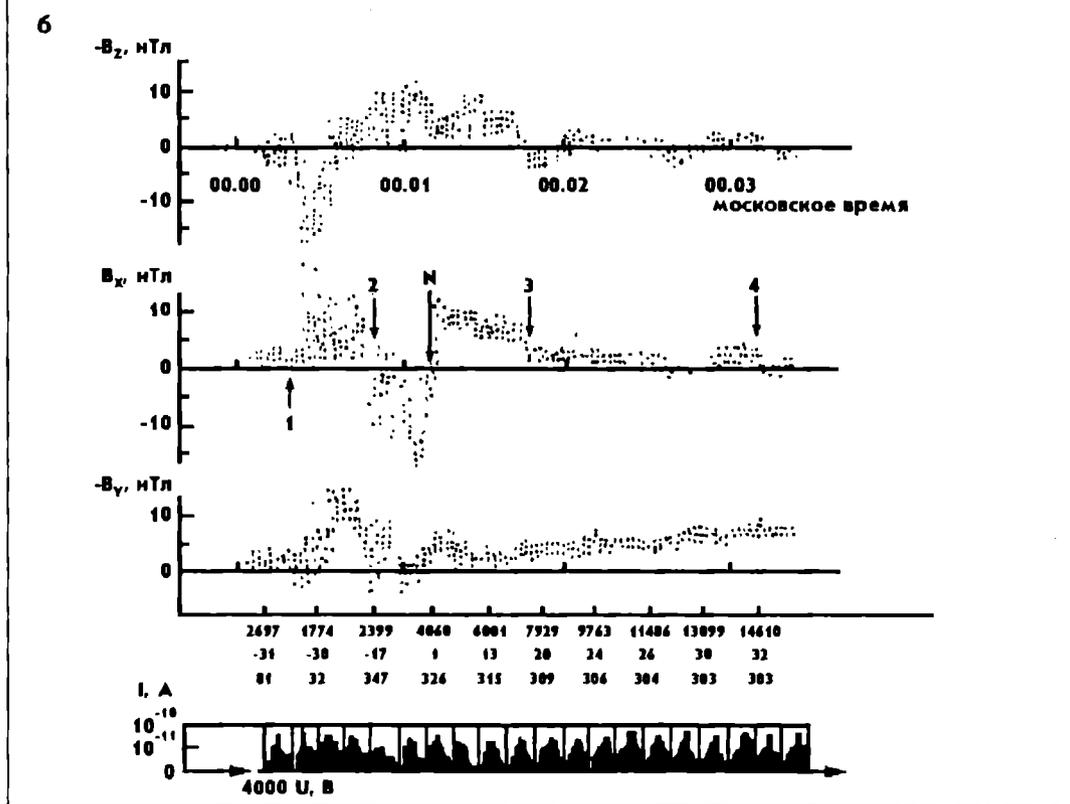
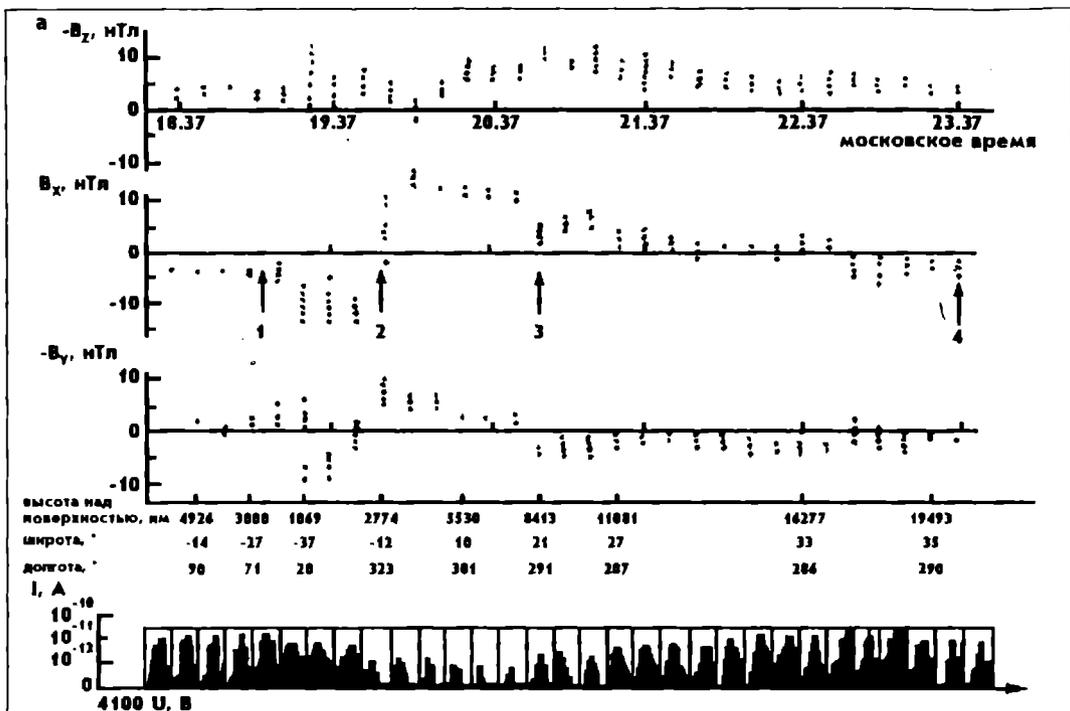


Рис. 2. Магнитограммы 13.02 (а) и 20.02 (б) 1974 г., полученные на «Марс-5» при  $R_{\text{ср}} = (0.7-0.8) \cdot 10^{-8}$  и  $(1.3-1.5) \cdot 10^{-8}$  дин·см<sup>-2</sup> соответственно. 1 — ударный фронт; 1—2 и 3—4 — переходные области между ударным фронтом и препятствием; 2—3 — зона собственного магнитного поля; N — нейтральный слой. Под магнитограммами представлены спектры плазмы по данным Грингауза (зависимость тока ионов  $I$  от задерживающего напряжения  $U$ ); спектры, снятые в различные моменты времени, показаны в прямоугольниках, а шкала, одинаковая для всех спектров, вынесена слева).

ориентации силовых линий в низких широтах дневной стороны.

Радиальная компонента дипольного поля меняет свою ориентацию с широтой, переходя через нулевое значение на магнитном экваторе. Поскольку в магнитограммах «Марс-2» была известна ориентация датчика, направленного в сторону Солнца, то анализ магнитограмм этой компоненты позволил установить моменты перехода через нулевое значение и изменение полярности<sup>10</sup>.

На рис. 3 представлены марсоцентрические координаты<sup>11</sup> точек, где радиальная  $V_r$ -компонента поля переходила нулевое значение. Даже при ограниченном числе наблюдений видно, что магнитный экватор Марса наклонен к плоскости марсоцентрического экватора на угол  $-15^\circ$ . Анализ  $V_r$ -компонент поля, измеренных со спутника «Марс-2», позволил установить, что полярность поля в низких широтах дневной стороны совпадает с полярностью диполя, определенной в шлейфе марсианской магнитосферы на ночной стороне по данным «Марс-5». Северный магнитный полюс марсианского диполя находится в Южном полушарии планеты, а не в Северном, как было принято условно по данным измерений в высоких широтах дневной стороны со

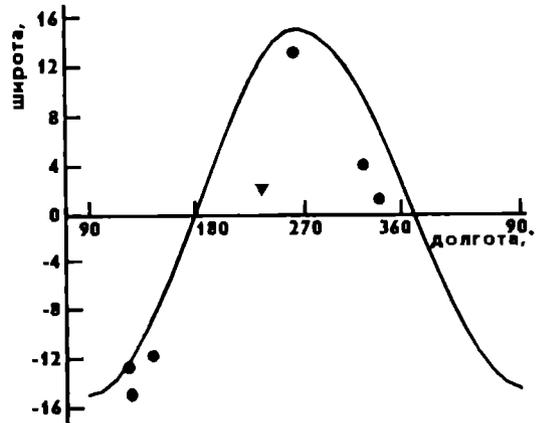


Рис. 3. Изменение широты магнитного экватора Марса в зависимости от марсианской долготы. Магнитный экватор обнаруживается по смене знака радиальной компоненты магнитного поля.

спутника «Марс-3». Сам факт существования этого кажущегося противоречия является доказательством наличия собственного магнитного поля Марса, деформированного солнечным ветром, с характерной земноподобной топологией силовых линий на дневной и ночной сторонах (рис. 4). Однако касп в марсианской магнитосфере расположен на более низких широтах, чем в земной.

#### ИТОГИ ПОЛЕТОВ «МАРСА-2, -3, -5»

Кроме рассмотрения новых данных с «Марс-5», продолжался и анализ результатов, полученных ранее с помощью «Марс-2, -3». Так, уже упоминавшийся сеанс измерений 23—24.02.1972 г. помог осмыслить характер взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Марса.

Измерения со спутника «Марс-2» выполнялись непрерывно, в течение 36 час. За это время он дважды достигал перигея на дневной стороне планеты, а на ночной стороне были выполнены измерения вплоть до расстояний  $-12$  тыс. км (рис. 5). При первом прохождении перигея датчиками, ортогональными направлению на Солнце, было обнаружено магнитное

<sup>10</sup> Долгинов Ш. Ш., Жузов Л. Н., Шарова В. А. Об ориентации и величине магнитного поля Марса // Космич. исслед. 1984. Т. 22. Вып. 3. С. 440—449.

<sup>11</sup> Марсоцентрические координаты — система координат, начало которой привязано к центру Марса.

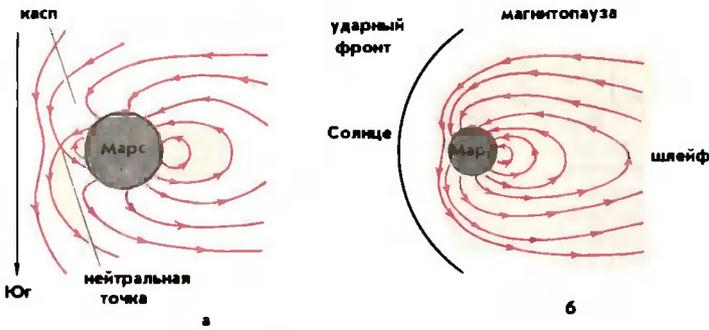


Рис. 4. Конфигурация марсианской магнитосферы при слабом (а) и сильном (б) давлении солнечного ветра и при  $V_z$ -компоненте, направленной к югу. В первом случае образуется нейтральная точка (точка пересечения магнитных линий; поле в этой точке равно нулю), во втором — допускается возможность возникновения области эрозии собственного поля.

поле  $-25$  нТл, а при втором прохождении — лишь слабое поле, характерное для переходной зоны. Этот результат стал понятен только тогда, когда появились данные о динамическом давлении солнечного ветра  $P_{\text{св}}$  в период наблюдения «Марса-2». Такие сведения содержались в каталоге Кинга, которые, однако, были получены на спутниках вблизи Земли. Почти трехкратное увеличение динамического давления (см. рис. 5, в), которое установилось за несколько часов до второго прохождения спутником «Марс-2» перигея и сохранилось позднее, привело к тому, что граница магнитосферы сместилась к поверхности Марса ниже перигея спутника. Магнитопауза придвинулась к планете на дневной стороне, а магнитный шлейф на ночной стороне оказался более сжатым. Таким же образом ведет себя магнитосфера Земли: при больших давлениях солнечного ветра граница земной магнитосферы смещается от  $10 R_z$  до  $6.6 R_z$ , где она обнаруживается магнитометрами геостационарных спутников. На поверхности Земли в такие периоды развиваются сильные магнитные бури, а полярные сияния видны даже в Индии. Смещение границ магнитосферы сопровождается и сдвигом к Земле ударного фронта. Такая зависимость положения ударного фронта и границы магнитосферы от давления солнечного ветра не свойственна индуцированной магнитосфере Венеры.

Таким образом, исследования магнитных полей в окрестности Марса, на дневной и ночной сторонах планеты, со

спутников «Марс-2, -3, -5», несмотря на кратковременность экспериментов и ряд других ограничений, позволили сделать следующие заключения:

1. В окрестности Марса существует ударный фронт, который указывает, что планета является препятствием для солнечного ветра, хотя и не говорит о природе препятствия;

2. При минимальных высотах перигея орбит на дневной стороне планеты в  $1300-1500$  км магнитометры обнаруживали поле планеты при  $P_{\text{св}} < 5 \cdot 10^{-9}$  дин·см $^{-2}$ . В таких условиях именно магнитное поле, а не ионосфера, служило препятствием для солнечного ветра;

3. Обнаруженное поле ограничено с дневной стороны и простирается до больших расстояний на ночной стороне, образуя земноподобный магнитный шлейф;

4. Данное поле является собственным полем планеты;

5. Северный магнитный полюс марсианского диполя находится в Южном полушарии планеты. Ось магнитного диполя отклонена от оси вращения на угол  $-15^\circ$  (у Земли — на  $11^\circ$ );

6. Интенсивность дипольного поля на поверхности у экватора находится в пределах  $28-31$  нТл, а магнитный момент диполя — соответственно  $(1.1-1.2) \cdot 10^{12}$  Тл·м $^3$  или  $(1.1-1.2) \cdot 10^{22}$  Гс·см $^3$  (у Земли  $8 \cdot 10^{25}$  Гс·см $^3$ );

7. Каспы марсианской магнитосферы находятся на более низких широтах, чем каспы земной;

8. Магнитосфера Марса контролируется динамическим давлением сол-

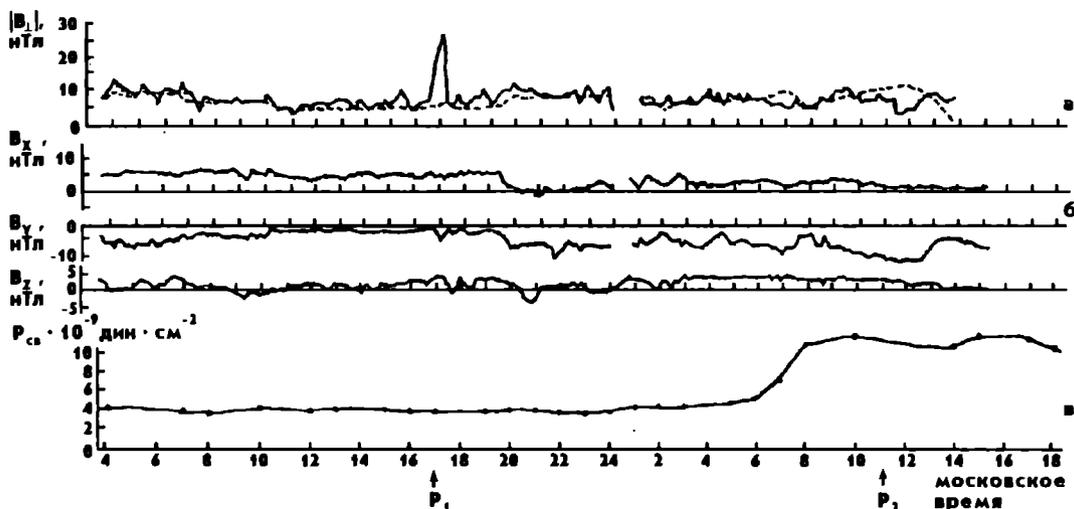


Рис. 5. Изменение модуля  $V_1 = (V_x^2 + V_y^2)^{1/2}$  по измерениям 23—24.02 1972 г. при «закрутке» «Марса-2» во время двух последовательных прохождений области перигентра  $P_1$  и  $P_2$  (сплошная кривая а), ход солнечно-эклиптических  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ -компонент ММП при одновременных измерениях в солнечном ветре на «Марсе-3» (б) и изменение  $R_{cs}$  на орбите Марса (в) по данным каталога Кинга с учетом расстояния до Солнца и сектора ММП.

нечного ветра  $R_{cs}$  и при увеличении  $R_{cs}$  магнитопауза смещается к планете, а шлейф сжимается. Особенно сильную эрозию при процессах пересоединения собственного поля и южной  $V_z$ -компоненты ММП будет испытывать экваториальная область (см. рис. 4, а). На это обратили внимание еще в 1974 г. М. Е. Росбах и Р. А. Вольф в работе, посвященной конвекции в магнитосфере Марса<sup>12</sup> (см. рис. 4, а и б).

#### ДИСКУССИЯ ПО ПРОБЛЕМЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАРСА

Результаты измерений магнитных полей и плазмы вблизи Марса с аппаратов «Марс-2, -3, -5» и принципиально отличающаяся их интерпретация со стороны участников экспериментов

не могли не привлечь пристального внимания зарубежных исследователей, и прежде всего американских. Исследования, проведенные на аппаратах СССР вблизи Венеры и Марса, показали, что эти две планеты земной группы продолжают оставаться важнейшими экспериментальными полигонами для изучения в рамках сравнительной планетологии нерешенных проблем геофизики, динамо-теорий, истории и эволюции Солнечной системы. Этот интерес простирался вплоть до влияния на планы НАСА и конкурентного состязания за активное место в них среди американских исследователей.

17—21 ноября 1975 г. в Институте космических исследований АН СССР проходил представительный семинар американско-советской рабочей группы по Луне и планетам<sup>13</sup>. Американскую делегацию возглавлял Н. Ф. Несс, а советскую — член-корреспондент АН СССР О. М. Белоцерковский. Семинар был посвящен взаимодействию солнечного ветра с планетами Меркурий, Венера и Марс. Высказывались различные точки зрения. Долгинов, Грингауз и соавторы утверждали, что собственное магнитное поле Марса существует и

<sup>12</sup> Rassbach M. E., Wolf R. A., Daniell R. E. Convection in Martian Magnetosphere // J. Geophys. Res. 1974. V. 79. № 7. P. 1125—1127.

<sup>13</sup> Solar-Wind Interaction with the Planets Mercury, Venus and Mars / Ed. N. F. Ness. 1976. NASA SP-397. P. 1—170.

является эффективным препятствием солнечному ветру, по крайней мере, при определенных значениях его давления.

Вайсберг и коллеги обосновывали реальность обнаружения тяжелых ионов ионосферного происхождения в переходной зоне и, опираясь на то, что «средняя высота» препятствия составляет 500 км, защищали модель прямого взаимодействия частиц солнечного ветра с ионосферой Марса — непрерывного взаимообмена и перезарядки частиц солнечного ветра и газовой оболочки планеты. Такой механизм мог приводить к большему удалению ударного фронта от центра Марса из-за меньшей силы тяжести по сравнению с Венерой и при отсутствии у него собственного поля. Но в отличие от своих первых публикаций эти авторы допускали совместимость существования слабого собственного магнитного поля Марса и указанного сценария взаимодействия солнечного ветра с планетой, который в их изложении соответствовал в полной мере венерианскому типу взаимодействия с солнечным ветром. Действием собственного поля Марса, наличие которого было невозможно отрицать, авторы фактически пренебрегли и истинные причины совместимости присутствия и собственного поля, и частиц ионосферного происхождения в переходной зоне вблизи Марса не раскрыли.

А. Дж. Деслер (США) присоединился к первой точке зрения и на вопрос, есть ли у Марса собственное магнитное поле, ответил утвердительно. В качестве аргумента он напомнил, что при  $V_z$ -компоненте ММП, направленной к югу, магнитопауза геомагнитного поля может приблизиться к планете на 26 % своего обычного радиуса. Подобная ситуация (см. рис. 4, а) свойственна и магнитосфере Марса, что не противоречит наличию собственного магнитного поля. Деслер также подчеркнул важность выявления общей закономерности механизма планетарных динамо. Эта проблема нашла решение в «численном законе» модели прецес-

сионного динамо<sup>14</sup>, и прогресс в этой проблеме был достигнут благодаря открытию собственного дипольного поля Марса.

Тем не менее, дискуссия по проблемам магнитных полей Венеры и Марса продолжалась два десятилетия<sup>15</sup>. В октябре 1978 г., за два месяца до выхода на орбиту вокруг Венеры американской станции «Пионер-Венера», статью, озаглавленную интригующим вопросом: «Имеет ли Венера собственное магнитное поле?» — К. Т. Расселл закончил фразой: «Я голосовал бы за «есть» для современного динамо-поля Венеры и «нет» — для динамо Марса»<sup>16</sup>.

Отсутствие заметного собственного магнитного поля Венеры было доказано совместным анализом данных со спутников Венеры «Венера-4» и «Маринер-5»<sup>17</sup>. В публикациях Расселла и его коллег в 1978—1988 гг. реанимировались предположения о возможном магнитном состоянии Марса, высказанные еще до прямых экспериментов и по сути игнорирующие их результаты:

— при одинаковой угловой скорости Земли и Марса и размерах последнего, превышающих размеры Меркурия, можно ожидать, что магнитное поле Марса должно иметь промежуточное значение между полем Меркурия (~150 нТл) и полем Земли (~30 мкТл). Но такое поле не

<sup>14</sup> Долгинов Ш. Ш. О движущей силе планетарных динамо // Докл. РАН. 1994. Т. 335. № 6. С. 784—788; он же. Об энергии прецессионного динамо-механизма магнитного поля Земли // Докл. РАН. 1994. Т. 338. № 3. С. 387—389; он же. Прецессия планет и генерация их магнитных полей // Геомагнетизм и аэрономия. 1995. Т. 35. № 1. С. 1—29.

<sup>15</sup> См., например: Dolginov Sh. Sh. Magnetic Field and Magnetosphere of Mars // International Symposium on Physics of Solar Planetary Environments. Colorado, 17—18 June, 1976 / Ed. D. J. Williams. Washington D. C. 1976. V. 2. P. 872—888.

<sup>16</sup> Russell C. T. Does Venus Have an Intrinsic Magnetic Field? // Nature. 1978. V. 275. P. 692.

<sup>17</sup> Долгинов Ш. Ш., Ершенико Е. Г., Дэвис Л. О природе магнитного поля в окрестности Венеры // Космич. исслед. 1969. Т. 7. № 2. Вып. 5. С. 747—752.

обнаружено, и, следовательно, оно отсутствует вообще;

— средняя высота ударного фронта у Марса, по оценкам Вайсберга и соавторов, ~400—500 км, и наличие ионов планетарного происхождения в переходной зоне согласуется с венерианским типом взаимодействия Марса с солнечным ветром;

— при взаимодействии солнечного ветра с проводящей ионосферой Венеры на дневной стороне индуцируются токи, формирующие магнитный барьер, а силовые линии ММП, обволакивая ионосферу, образуют магнитный шлейф на ночной стороне. При этом, когда давление  $P_{\alpha} < 5 \cdot 10^{-8}$  дин·см<sup>-2</sup>, магнитные поля солнечного ветра не проникают в ионосферу, а при  $P_{\alpha} > 5 \cdot 10^{-8}$  дин·см<sup>-2</sup> ионосфера Венеры полностью пронизывается этими полями. По предположению Расселла и его коллег, при такой интенсивности солнечного ветра давление на орбите Марса оказывается всегда  $> 1 \cdot 10^{-8}$  дин·см<sup>-2</sup>, и, следовательно, его ионосфера должна быть постоянно пронизанной полями солнечного ветра;

— преобразование данных «Марса-5», опубликованных в солнечно-эллиптической системе координат, в цилиндрическую систему, ось X которой направлена на Солнце, будто бы позволяет установить, что топология магнитного поля в шлейфе Марса также соответствует картине обволакивания ионосферы планеты полями солнечного ветра.

Ни с одним из перечисленных утверждений Расселла мы не могли согласиться, так же как не согласились с ним позднее другие советские и американские исследователи, изучавшие экспериментальные данные «Марса-2, -3, -5». И вот почему.

Реванимированное Расселлом мнение, будто магнитные поля планет должны быть пропорциональны скоростям их углового вращения, уже тогда не находило подтверждения для обследованных планет Солнечной системы. Выявлялась роль ускорений, изменений угловых скоростей, из которых наиболее значимо ускорение, связанное с

прецессией планет. Это было изложено в тезисах конференции «Происхождение планетарного магнетизма»<sup>18</sup>, но не в широко распространенных ее трудах (из-за отсутствия на ней автора), где была опубликована только статья Расселла<sup>19</sup>. Далее, если бы преобразование координат было проведено Расселлом корректно, то должно было сохраниться основное свойство магнитного поля в шлейфе Марса, установленное аппаратом «Марс-5»: неизменность направления магнитного поля в шлейфе при изменении направления всех трех компонент магнитного поля солнечного ветра. Именно этот важнейший экспериментальный факт не нашел отражения в построениях Расселла, опубликованных в разных изданиях<sup>20</sup>.

Несоответствие имеющимся экспериментальным данным, которое содержалось в интерпретации и представлении данных «Марса-5» в статьях Расселла, в полной мере было раскрыто в экспериментальных работах И. М. Подгорного и соавторов<sup>21</sup>. Авторы проверили, могут ли быть поля, измеренные со спутника «Марс-5», объяснены обволакиванием ММП во-

<sup>18</sup> Dolginov Sh. Sh., Pushkov A. W. Does Mars Have an Active Dynamo? // Papers Presented to the Conference on Origins of Planetary Magnetism. Houston, Texas, 8—11 November, 1978. P. 28; Dolginov Sh. Sh. Magnetic Fields of Planets and Peculiarities of Their Rotation // Ibid. P. 33.

<sup>19</sup> Russell C. T. The Martian Magnetic Field // Phys. Earth Planet. Interiors. 1979. V. 20. No 2—4. P. 237—240.

<sup>20</sup> См. предыдущую сноску, а также: Russell C. T. The Magnetic Field of Mars: Mars-3 Evidence Re-Examined // Geophys. Res. Lett. 1978. V. 5. No 1. P. 81—84; Russell C. T. The Magnetic Field of Mars: Mars-5 Evidence Re-Examined // Geophys. Res. Lett. 1978. V. 5. No 1. P. 85—88; Russell C. T. Does Mars Have an Active Dynamo? // Proc. Lunar Planet. Conf. 9th. 1978. P. 3137—3139; Luhman J. C., Russell C. T., Scars E. L. et al. Characteristics of Mars Like Limit of the Venus — Solar Wind Interaction // J. Geophys. Res. 1987. V. 92. P. 8545—8550.

<sup>21</sup> Дубинин Э. М. Израйлевич П. Л., Подгорный И. М. К вопросу о природе магнитных полей в окрестностях Марса // Космич. исслед. 1983. Т. 21. Вып. 1. С. 111—115.

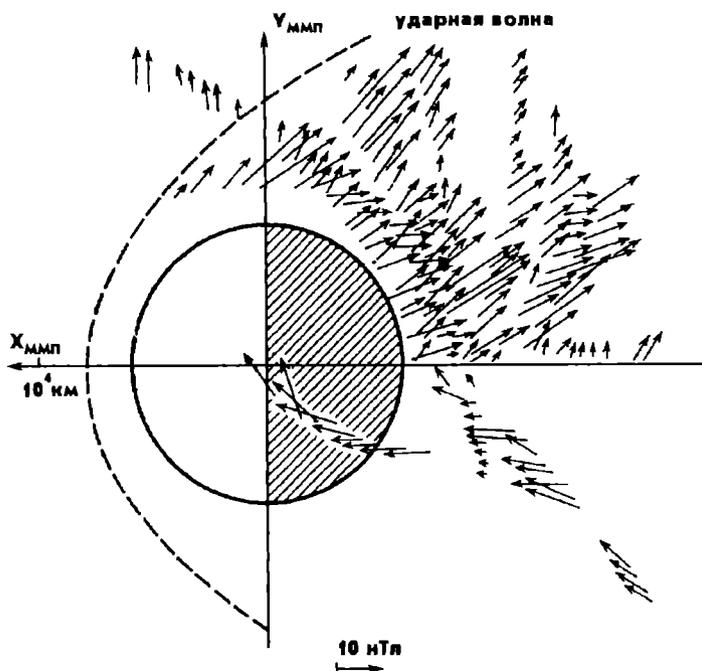


Рис. 6. Распределение проекций векторов магнитного поля на плоскость ( $X_{MMP}$ ,  $Y_{MMP}$ ) для серии сеансов «Венеры-9, -10» (1975—1976 гг.). Признаки обволакивания Венеры межпланетным магнитным полем: при  $Y_{MMP} > 0$  векторы наклонены вправо, а при  $Y_{MMP} < 0$  — влево.

круг планеты, как уверял Расселл. Изучение распределения поля в индуцированном шлейфе Венеры и в лабораторных моделях позволило им определить простой критерий обволакивания поля в системе координат, связанных с ММП: при  $Y_{MMP} > 0$   $X_{MMP} < 0$ , а при  $Y_{MMP} < 0$   $X_{MMP} > 0$  (рис. 6). Рассмотрение магнитограмм «Марса-5» в системе координат  $X_{MMP}$ ,  $Y_{MMP}$ ,  $Z_{MMP}$  показало, что в шлейфе марсианской магнитосферы в каждом сеансе выявляется область, в которой векторы поля не подчиняются критерию «обволакивания», и эти области совпадают с областями 2—3 на магнитограммах (рис. 1, 2) при их представлении в солнечно-эклиптической системе координат (где и обнаруживалось собственное поле Марса).

В ряде зарубежных публикаций также отмечалось, что в случае Марса необходимо наличие добавочного магнитного поля, чтобы противостоять давлению солнечного ветра, так как одного давления ионосферной плазмы для этого не достаточно. При этом,

если Д. С. Интеллигейтор и Э. Дж. Смитт<sup>22</sup> не обсуждали, является ли дополнительное поле собственным или индуцированным, то Дж. А. Слейвин и Р. Е. Хольцер<sup>23</sup> высказались в пользу именно собственного магнитного поля, даже если присутствует индуцированное.

Обсуждение результатов магнитных исследований с аппаратов «Марс-2, -3, -5» и дискуссия по проблеме магнитного поля Марса продолжались и приобрели характер бескомпромиссной дуэли<sup>24</sup>.

Примечательно, что на IV конфе-

<sup>22</sup> Intriligator D. S., Smith E. J. Mars in the Solar Wind // J. Geophys. Res. 1979. V. 84. № B-14. P. 8427—8435.

<sup>23</sup> Slavin J. A., Holzer R. E. The Solar Wind Interaction with Mars Revisited // J. Geophys. Res. 1982. V. 8. № B-12. P. 10285—10294.

<sup>24</sup> Об аргументах «за» см., например: Dolginov Sh. Sh. What we have learned about the Martian magnetic field? // Earth, Moon and Planets. 1987. V. 37. № 1. P. 17—52; Ibid. Once more on the Martian magnetic field // International Conference on Mars, 10—13 January 1989. P. 94—95.

ренции по Марсу, проходившей в январе 1989 г. в США, Расселл наконец признал: «Совокупность измерений во время минувших космических экспедиций к Марсу установила, согласно нашему пониманию наблюдаемых особенностей взаимодействия солнечного ветра с препятствиями, что Марс обладает собственным магнитным полем, которое оказалось менее интенсивным, чем ожидалось. Все еще нет единого мнения о величине напряженности поля и его природе»<sup>25</sup>. Впервые за минувшие годы он и его соавторы согласились с тем, что препятствием солнечному ветру, при определенной его интенсивности, служит собственное магнитное поле. Казалось, что длительная борьба взглядов на магнитное поле Марса окончена.

Но ряд обстоятельств, не имеющих отношения к подлинной науке, стимулировал бесславное продолжение дискуссии. В августе 1990 г. вышел из печати специальный номер *Journal of Geophysical Research* с докладами, прочитанными на IV конференции по Марсу, и в нем вместо упомянутого выше доклада Дж. Луманн и соавторов о магнитном поле Марса была опубликована другая статья — Вайсберга, Луманн, Расселла<sup>26</sup>. Эта статья была подготовлена, когда авторам уже стали известны научные результаты со спутника «Фобос-2», подтвердившие наличие ионов планетарного происхождения в переходной зоне. В свете имевшихся в свое время сомнений относительно реальности обнаружения этих ионов с аппаратов «Марс-2, -3» воспроизведение плазменных данных Вайсберга и коллег на страницах *JGR* в 1992 г. было вполне оправдано. Но, к сожалению, при этом была повторена и их старая интерпретация, что оказало

негативное влияние на обсуждение проблемы магнитного поля Марса авторами магнитных экспериментов «Фобос-2».

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕТА «ФОБОСА-2»

Ответить на многие вопросы должны были полеты космических аппаратов группы «Фобос». К сожалению, связь с орбитальным аппаратом «Фобос-1» была потеряна на дальних подступах к Марсу. Подобное случилось и с аппаратом «Фобос-2» на почти завершающем этапе его сближения со спутником Марса — Фобосом. Это привело к потере спускаемого аппарата и ограничило время активного существования «Фобоса-2» на орбите.

Исследования вблизи Марса на приэкваториальной орбите трехкомпонентными магнитометрами<sup>27</sup> и комплексом средств для изучения плазмы существенно дополнили знания о характере взаимодействия солнечного ветра с магнитным полем планеты, несмотря на возникшие ограничения в проведении эксперимента: всего четыре измерения на дневной стороне и отсутствие трехосной ориентации аппарата «Фобос-2» в большинстве сеансов измерений. Последнее обстоятельство было одной из причин, приведших к ограничениям в определении абсолютных значений динамического давления солнечного ветра прибором АСПЕРА и абсолютной ориентации  $V_{y,z}$ -компонент ММП, которая особенно важна при интерпретации экспериментальных данных. Период результативного функционирования «Фобоса-2» был отмечен интенсивной солнечной активностью, что способствовало наблюдениям марсианской магнитосферы в разных условиях, в наиболее деформируемой области,

<sup>25</sup> Luhman J. G., Russell C. T., Brace L. H., Vaisberg O. L. Mars Magnetic Field and Solar Wind Interaction // *Ibidem*. P. 38—47.

<sup>26</sup> Vaisberg O. L., Luhman J. G., Russell C. T. Plasma observations of the Solar Wind Interaction with Mars // *J. Geophys. Res.* 1990. V. 95. № B-9. P. 14841—14852.

<sup>27</sup> Исследования магнитного поля выполнялись специалистами Австрии (магнитометр МАГМА) и ГДР (магнитометр ФГММ). От ИЗМИРАН эксперименты курировали Е. Г. Ерошенко (МАГМА) и В. Н. Ораевский с сотрудниками (ФГММ).

как предсказывалось ранее. Однако эти особенности не были приняты во внимание на этапе предварительной обработки данных авторами магнитного эксперимента «МАГМА», так же как и при анализе ранее полученных результатов измерений в высоких и средних широтах с «Марса-2, -3, -5» на дневной и ночной сторонах планеты. На заседании Международного научно-технического совета по эксперименту «Фобос» (15—20 мая 1989 г., ИКИ АН СССР) присутствующие находились под впечатлением достоверно установленного всеми плазменными приборами наличия частиц планетарного происхождения в переходной зоне Марса. Как уже упоминалось, их обнаружение при полетах «Марса-2, -3, -5» питало модель венерианского типа взаимодействия солнечного ветра с Марсом в течение 15 лет, несмотря на то, что имелись экспериментальные данные, противоречившие этой модели.

В этой обстановке был с серьезностью воспринят вывод авторов магнитного эксперимента МАГМА, что они видят признаки только индуцированной магнитосферы Марса. Напротив, авторы магнитного эксперимента ФГММ заявили, что ими обнаружено циклическое изменение высоты границы магнитного шлейфа относительно плоскости эклиптики с периодом, равным периоду вращения планеты. Наблюдаемое изменение объясняется естественным образом, если планета обладает собственным магнитным диполем, наклоненным к оси вращения, и невозможно в случае индуцированного магнитного шлейфа. Однако последнее заявление либо не было понято, либо представлялось менее весомым в свете сообщения об ионах планетарного происхождения в переходной зоне и о солнечной природе наблюдаемых магнитных полей.

В октябре 1989 г. 33 автора из семи научных учреждений сообщали в совместной статье<sup>28</sup>:

— «средняя» высота ударного фронта в подсолнечной точке для Марса составляет  $1.44R_m$ , что близко к таковой вблизи Венеры;

— не выявляются надежные признаки существования собственного магнитного поля Марса;

— границу, где плазменные приборы отметили исчезновение частиц солнечного ветра — явление, которое наблюдается и на границе магнитосферы Земли («магнитопауза»), — авторы назвали «планетопаузой», по аналогии с «кометопаузой», наблюдавшейся в эксперименте «Вега».

Пожалуй, можно утверждать, что на интерпретацию данных авторами магнитных измерений «Фобоса-2» оказали влияние также результаты исследования взаимодействия солнечного ветра с кометой Галлея в эксперименте «Вега» (1986). Эти заключения авторов совпадают с тем, что ранее публиковал Расселл, бывший, кстати, среди соавторов и этой публикации.

Затем в GRL была напечатана статья, в которой делались сходные утверждения: магнитные шлейфы Марса и Венеры весьма подобны; наивысшая напряженность поля в марсианском шлейфе — 14 нТл; поле чувствительно к изменению полярности ММП, как в индуцированной магнитосфере Венеры; влияние собственного поля, если оно существует, очень невелико и не выявляется<sup>29</sup>.

Выводы, содержащиеся в этих статьях, противоречили экспериментальным данным, которые были получены с помощью аппаратов «Марс-2, -3, -5» и «Фобос-2».

Выполненный нами объективный, независимый, детальный анализ результатов магнитных и плазменных измерений, проведенных в эксперименте «Фобос-2» на дневной стороне и в магнитном шлейфе Марса, принес новые доказательства существования

<sup>28</sup> Reidler W. D., Mohlmann D., Oraevsky V. N. et al. Magnetic fields near Mars: first results // Nature. 1989. V. 341. № 6243. P. 604.

<sup>29</sup> Yeroshenko Ya. G., Riedler W., Schwingenschuh K. et al. The magnetotail of Mars: Phobos observation // Geophys. Res. Lett. 1990. V. 17. № 6. P. 885—886.

собственного магнитного поля планеты<sup>30</sup>.

Данные «Фобоса-2» для экваториальной плоскости подтвердили величину, полярность и наклон оси марсианского диполя, определенные по измерениям в средних и высоких широтах планеты с аппаратов «Марс-2, -3, -5».

Подчеркнем практическое совпадение величины магнитного момента Марса, вычисленной непосредственно из значений интенсивности магнитного поля, а также из условия баланса магнитного давления и давления плазмы солнечного ветра. Оно доказывает, что граница, где плазменными приборами «Фобоса-2» фиксировалось исчезновение частиц солнечного ветра, является магнитопаузой — границей баланса давлений, а не планетопаузой — границей контакта частиц солнечного ветра и частиц ионосферного происхождения. Были получены новые доказательства того, что при  $P_{\alpha} \leq 5 \cdot 10^{-9}$  дин·см<sup>-2</sup> эффективным препятствием солнечному ветру вблизи Марса является магнитное поле планеты. При больших давлениях и при  $V_z$ -компоненте ММП, направленной к югу, дипольное поле подвергается сильной эрозии, магнитопауза приближается к планете, шлейф испытывает сильное сжатие, а также влияние индукции и генерации полей внешнего происхождения, но собственное поле никогда не исчезает.

<sup>30</sup> Dolginov Sh. Sh., Zhusgov L. N. The magnetic field and the magnetosphere of the planet Mars // Planet Space Sci. 1991. V. 39. № 11. P. 1493—1510; Долгинов Ш. Ш. Магнитное поле и магнитосфера планеты Марс // Космич. исслед. 1991. Т. 29. Вып. 3. С. 754—789; Ibid. The magnetic field and the magnetosphere of the planet Mars // Adv. Space Res. 1992. V. 12. № 8. P. (8)187—(8)211.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Открытие магнитного поля Марса космическими аппаратами «Марс-2, -3, -5» — важнейший результат космической программы СССР. Обнаружение магнитного поля у планеты, имеющей практически одинаковые с Землей угловые скорости вращения и амплитуды прецессии, позволило впервые проверить роль внешних гравитационных сил Солнца и ближайших спутников в генерации магнитных полей Земли и планет.

Магнитное поле Марса, несмотря на свою малость, модельно подобно дипольному полю Земли и других планет в рамках численного закона модели прецессионного динамо. Эта модель позволяет объяснить данные о том, что в далеком прошлом планета Марс могла иметь более интенсивное магнитное поле. Существует проблема марсианского палеомагнетизма; ее исследование планируется в предстоящих полетах к планете в рамках программ «Mars Global Surveyor» и «Марс-96», что послужит средством изучения истории ее эволюции.

Мы должны понять, почему в современную эпоху Меркурий, Марс и Земля имеют одинаковую полярность магнитных диполей, противоположную полярности диполей планет-гигантов, при одном и том же направлении вращения всех планет. Эта проблема тем более загадочна, если учесть, что геомагнитное поле неоднократно меняло свою полярность. Случайны ли такие инверсии, или есть определенный синхронизм в них, например, для планет земной группы? Ответ на этот вопрос — ключ к пониманию механизма инверсии и динамо-процесса.

## «Магеллан» плывет к Венере

А. Т. Базилевской, Э. Л. Аким, А. И. Захаров

**В** МАЕ 1989 г. с космодрома на мысе Канаверал во Флориде стартовал американский корабль многоцелевого использования «Атлантис». Когда он вышел на орбиту спутника Земли, космонавты с помощью механической руки извлекли из грузового отсека космический аппарат «Магеллан» и отпустили его в самостоятельное плавание. Увеличив скорость автономной двигательной установкой, «Магеллан» оставил орбиту спутника Земли и отправился к Венере, чтобы произвести глобальную съемку ее поверхности, используя радиолокатор. В августе 1990 г., подлетев к Венере, «Магеллан» притормозил, был захвачен ее гравитационным полем и стал спутником. Началась съемка планеты.

Венера окутана плотной атмосферой, которая не дает возможности увидеть ее твердую поверхность из космоса в оптическом диапазоне. Но эта плотная атмосфера проницаема для радиоволн, и потому поверхность планеты можно «увидеть» извне с помощью радиолокатора. Радиолокатор «Магеллана» работал одновременно в трех режимах. Во-первых — в режиме высотомера, посылая радиопульсы вертикально вниз и измеряя время задержки отраженного сигнала. Так определялись расстояния от аппарата до поверхности, которые с учетом высоты орбиты в каждой точке измерений пересчитывались в высоты поверхности. Во-вторых — в режиме локатора бокового обзора, когда поверхность облучается радиолучом, направленным влево или вправо от трассы полета, а отраженные сигналы разделяются по времени задержки и доплеровскому сдвигу. Затем с помощью компьютера строится изображение поверхности, внешне очень похожее на то, что мы увидели бы через телескоп, если бы у Венеры не было плотной атмосферы. В-третьих — в режиме пассивного приема, когда посылка радиопульсов к поверхности на мгновение

прекращается и приемник радиолокатора принимает и анализирует собственное радиоизлучение Венеры. Это дает возможность определить излучательную способность поверхности в радиодиапазоне. Совместная же обработка данных, полученных во всех режимах работы, позволяет измерять в радиодиапазоне отражательную способность поверхности и ее шероховатость.

Кроме того, высокоточные определения доплеровского сдвига частоты одного из радиопередатчиков космического аппарата позволяли измерять небольшие ускорения, связанные с усилением или ослаблением притяжения «Магеллана» к планете над местами, где есть избыток или дефицит массы. В результате этих измерений получается карта гравитационных аномалий, анализ которой вместе с изучением карты высот и изображений поверхности дает возможность судить о глубинном строении некоторых геологических структур.

В дополнение к стандартным программам «Магеллан» был способен получать информацию и в нестандартных режимах. Так, радиолокационная съемка поверхности под различными углами обзора позволяла формировать стереопары и тем самым проводить измерения высот рельефа с более высокой детальностью, чем штатный радиовысотомер. Полученные в ходе первых пробных сеансов стереопары оказались настолько впечатляющими и информативными, что было решено посвятить один из циклов наблюдений стереоскопической съемке. Забегая вперед, скажем, что в таком режиме было снято около 40% поверхности Венеры. В экспериментах по бистатической локации, когда радиосигнал «Магеллана» под скользящим углом к поверхности переотражался в направлении Земли, удалось получить новые данные о радиофизических свойствах грунта.

Информация с «Магеллана» принималась в трех пунктах наблюдений, один из которых был расположен на западе США, другой — в Австралии и третий — в Испании. Это давало возможность «видеть» Венеру и принимать информацию с «Магел-



*Александр Тихонович Базилевский, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией сравнительной планетологии и метеоритики Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН. Специалист в области геологии и геохимии планет Солнечной системы, участник экспериментов на космических аппаратах «Луноход-1 и -2», «Луна-16, -20, -24», «Марс-4, -5», «Венера-9, -10, -13, -14, -15, -16», гость-исследователь в американских космических проектах «Вояджер—Нептун» и «Магеллан». Лауреат Государственной премии. Неоднократно публиковался в «Природе».*

*Научный руководитель проекта «Магеллан» — Рональд Стефен Саундерс.*

*Эфраим Лазаревич Аким, доктор физико-математических наук, заместитель директора Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН. Область научных интересов — динамика космического полета и небесная механика. Принимал участие в баллистическом обеспечении почти всех советских и российских космических полетов, начиная с первого спутника. Лауреат Ленинской и нескольких Государственных премий.*

*Александр Иванович Захаров, кандидат технических наук, заведующий лабораторией систем планетной радиолокации Института радиотехники и электроники РАН. Занимается цифровой обработкой сигналов, радиофизическими методами исследования планет. Участник экспериментов на космических аппаратах «Венера-15 и -16», гость-исследователь в американском космическом проекте «Магеллан». Лауреат Государственной премии.*

лана» круглосуточно. Управление полетом и руководство проектом в целом велось из Лаборатории реактивного движения (Jet Propulsion Laboratory), которая находится в Пасадене (Калифорния). «Магеллан» провел три цикла радарных наблюдений, получив изображения 98% поверхности планеты с разрешением 120—220 м, и несколько циклов гравитационных измерений. В октябре 1994 г. по команде с Земли высота орбиты «Магеллана» была снижена. Он

вышел сначала в разреженные, а потом в плотные слои атмосферы и разрушился. Миссия «Магеллана» завершилась.

#### КОМАНДА И ГОСТИ «МАГЕЛЛАНА»

В работе по проекту «Магеллан» участвовало несколько сотен человек, составлявших его команду. Эта команда занималась в основном организацией работ

по проекту: менеджментом; инженерно-техническим обслуживанием приема поступающей с «Магеллана» информации, ее обработкой и первичным анализом, построением изображений поверхности Венеры в определенных форматах и проекциях; научным анализом получаемой информации. Если в организации работ ключевая фигура в проекте системы НАСА — менеджер проекта (он и его помощники занимались финансовой стороной дела и общей организацией работ; их задача — не выходя за рамки определенного финансирования, обеспечить бесперебойную работу всех подразделений), то анализ информации возглавлял научный руководитель проекта.

В проекте «Магеллан» им был Рональд Стефен (или просто Стив) Саундерс. Под его опекой находилась команда примерно из 20 исследователей (Investigators). В основном — профессора различных университетов, которые еще до начала работы «Магеллана» победили в конкурсе на участие в проекте. Каждый из исследователей получал определенное финансирование и имел право привлекать к анализу данных «Магеллана» своих студентов и сотрудников. Таким образом, общая численность научной команды «Магеллана» достигала примерно 100 человек. В ходе работы между исследователями возникло разделение сфер ответственности. По взаимной договоренности и при некотором принуждении со стороны научного руководителя одни сосредоточили внимание на вулканических образованиях, другие — на тектонических структурах, третьи — на ударных кратерах и так далее. Большую часть работы исследователи выполняли в своих университетах, куда своевременно поступали все данные измерений «Магеллана», а в Лаборатории регулярно собирались на рабочих встречах. В команде «Магеллана» были и авторы этой статьи, представлявшие Советский Союз, а затем Россию. Мы были участниками команды «Венеры-15, -16», миссии 1983—1984 гг., близкой к «Магеллану» по задачам и средствам их решения. Это в значительной мере и предопределило тот факт, что нас выбрали в качестве советских представителей. Мы имели статус «гостей-исследователей», а установлен он был в 1988 г. по договоренности между НАСА и Советом «Интеркосмос» Академии наук СССР для взаимного участия ученых в космических проектах. Как гости-исследователи «Магеллана» мы имели право раз в год приехать в Пасадену и проработать там один месяц.

За время действия проекта каждый из нас совершил три такие поездки.

Мы имели доступ ко всей получаемой «Магелланом» научной информации, как, впрочем, и американские исследователи — к данным «Венеры-15, -16». В проекте были предусмотрены средства на изготовление для каждого из нас фотоотпечатков и дубли-негативов всех фотокарт поверхности Венеры, составляемых в Лаборатории по данным «Магеллана». Результаты съемки записывались также на оптические диски, которые тоже передавались нам для анализа в наших исследовательских институтах.

В свой первый приезд в Лабораторию мы согласовали с научным руководителем проекта планы нашей конкретной работы. Двое из нас, Э. Л. Аким и А. И. Захаров, сравнивая разделенные шестилетним перерывом результаты съемки космическими аппаратами «Венера-15, -16» и «Магеллан», занимались уточнением периода вращения Венеры вокруг своей оси. А третий — А. Т. Базилевский — взялся за фотогеологический анализ районов, где космические аппараты серии «Венера — Вега» совершили посадку на планету и определили химический состав поверхности.

Естественно, большую часть этих работ мы выполняли в наших институтах в Москве, а во время визитов в Пасадену рассказывали, что нами сделано, узнавали последние новости о ходе съемки, работали с самой новой информацией и знакомились с еще не опубликованными результатами исследований наших коллег по команде. Эта живая информация, касающаяся многих деталей проекта, сведения, которые в силу их кажущейся малой значимости или очевидности, как правило, не публикуются, на самом деле очень важна и, наверно, составляла главный смысл наших визитов в Лабораторию. Принимавшие нас сотрудники делали все возможное, чтобы мы могли продуктивно работать, а все возникавшие бытовые и небытовые вопросы разрешались очень быстро. Пожалуй, единственным неприятным обстоятельством нашего пребывания там был режимный характер этого учреждения, предполагающий определенную настороженность в отношении иностранцев. Так, мы могли находиться на всей территории, включая столовую, только в сопровождении американских коллег. Единственным исключением из правила было посещение туалета. Однако, зная, что аналогичный порядок установлен и на наших

режимных предприятиях, мы относились к этой ситуации как к неизбежной реальности нашего разделенного мира.

#### ПОЧЕМУ «МАГЕЛЛАН» ПОЛЕТЕЛ К ВЕНЕРЕ

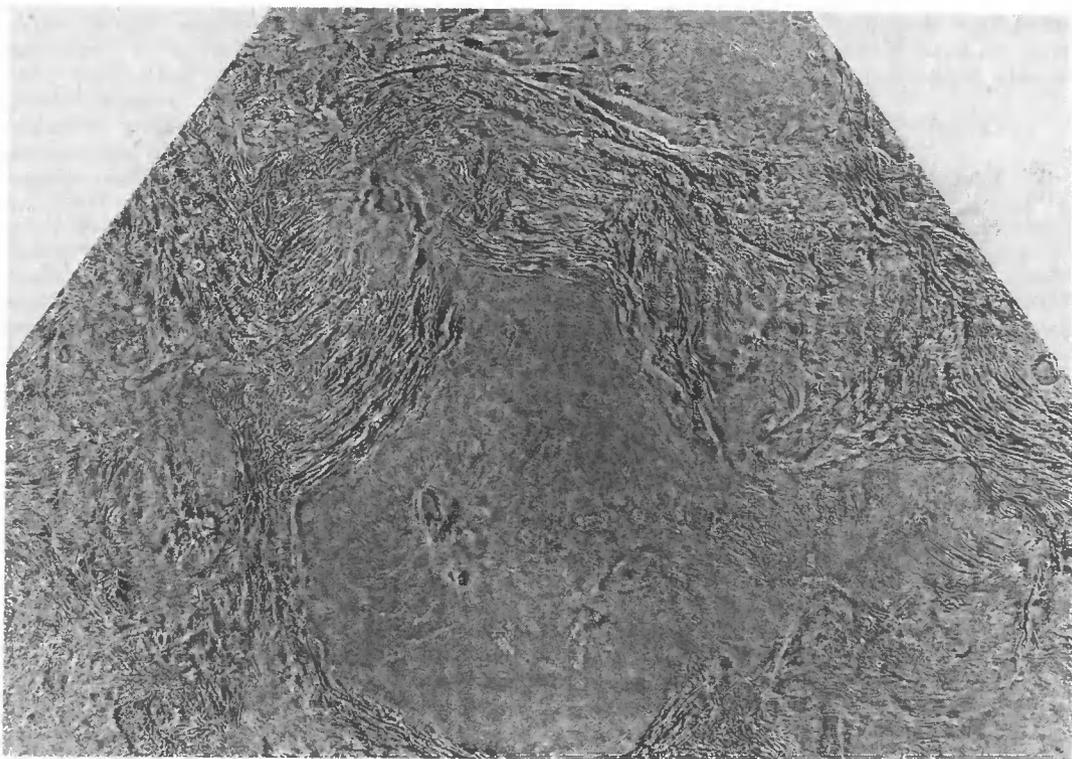
Венера — планета наиболее близкая к Земле как по положению в Солнечной системе, так и по размерам и массе. Последнее означает и близость значений средних плотностей, что предполагает сходство по общему химическому составу этих двух планет. Казалось бы, все это предопределяет их сходство и по характеру геологического строения и геологической истории. Однако то, что, начиная с первых полетов к Венере, мы узнавали о ней, говорило скорее о различиях. Резко отличными от земных оказались условия на поверхности Венеры — температура около 470°C, давление углекислой атмосферы около 90 бар. Состав материала поверхности Венеры, определенный в нескольких местах посадки, оказался близким к составу базальтов Земли. Но распределение высот поверхности по планете, что косвенно говорит о характере ее геологического строения, на Венере и на Земле оказалось разным. На Земле это распределение бимодальное — есть два максимума распространенности, отражающие деление поверхности нашей планеты на выступы материков и океанические бассейны. А на Венере распределение высот одномодальное. Нам важно понять суть элементов сходства и различия этих планет, тогда мы лучше поймем, почему наша Земля такая, какая она есть, ведь это важно и с общепhilософской (удобнее жить в мире, который понимаешь), и с практической (полезные ископаемые, изменение климата, природные катастрофы на Земле) точек зрения.

Изучение Венеры при помощи космических аппаратов началось в нашей стране еще в 60-е годы с попыток доставить на эту планету исследовательский зонд и провести измерения в ее атмосфере и на поверхности. Первые прямые измерения состава и других характеристик венерианской атмосферы были сделаны советским космическим аппаратом «Венера-4» (1967), а первые измерения температуры и давления на поверхности планеты — «Венерой-7» (1970). Затем в течение ряда лет в нашей стране была осуществлена серия запусков космических аппаратов («Венера-8—14», «Вега-1, -2»), с помощью которых было продолжено изучение характеристик атмосферы, в семи местах

посадки измерен химический состав материала поверхности, в четырех — получены телевизионные панорамы ближайших окрестностей точки посадки. Ученые США, наши конкуренты по космическим исследованиям, трижды проводили зондирование атмосферы Венеры с пролетающих космических аппаратов («Маринер-2», 1962 г.; «Маринер-5», 1967; «Маринер-10», 1973), а затем направили к Венере космический аппарат «Пионер-Венера» (1978), который нес на себе четыре спускаемых зонда для изучения атмосферы и спутник с радиолокатором для измерения высот и определения радиофизических свойств поверхности.

Следующий серьезный шаг в изучении Венеры был сделан в 1983—1984 гг., когда советские космические аппараты «Венера-15» и «Венера-16» провели радиолокационную съемку 1/4 поверхности планеты (от 30° с. ш. до северного полюса). Были измерены высоты поверхности, а главное — в режиме бокового обзора получены изображения поверхности с разрешением 1—2 км. Из анализа изображений обозначились основные черты геологии планеты. Было установлено, что в зоне съемки наиболее широко распространены равнины нескольких типов, сложенные наложениями вулканических лав. Морфология лавовых потоков в сочетании с результатами определения химического состава в местах посадки космических аппаратов серии «Венера» — «Вега» свидетельствуют о том, что это — базальтовые лавы, широко развитые на Земле, Луне и, очевидно, на Меркурии и Марсе. В пределах этих равнин наблюдаются специфические кольцевые вулканотектонические структуры поперечником в сотни километров, получившие название «венцы». Среди равнин находятся «острова» и «континенты» сильно пересеченной местности, не типичной для других планет. Структурный рисунок такой поверхности, определяемый пересечениями многочисленных тектонических разломов, напоминает вид черепичной кровли, и потому местность этого типа получила название «тессера», что по-гречески значит «черепица». Было установлено, что образование тессеры предшествовало сформировавшим равнины лавовым излияниям, но разобраться в возрастных соотношениях между различными типами равнин не удавалось — не хватало разрешения изображений.

В зоне съемки «Венеры-15, -16» было обнаружено около 150 ударных кратеров диаметром от 8 до 140 км. Зная, хотя и очень приблизительно, частоту



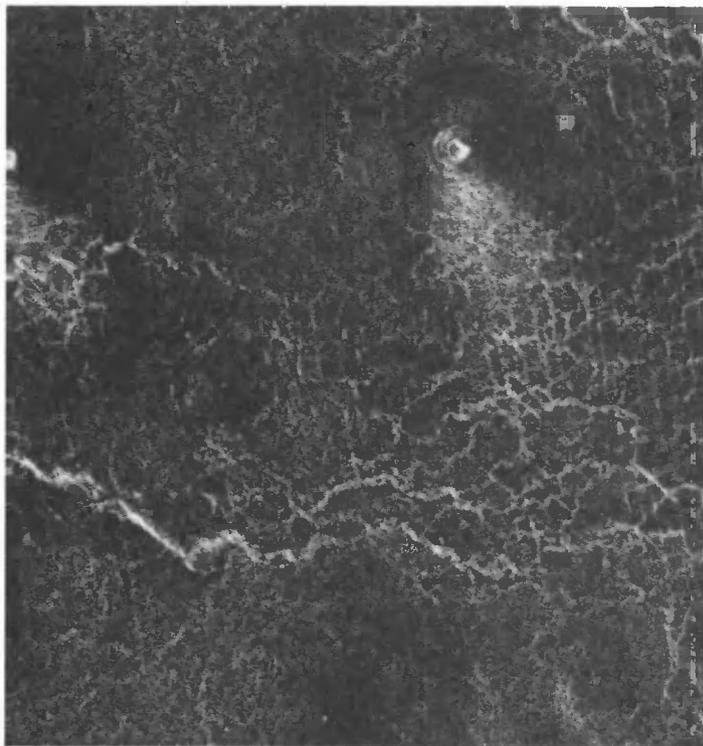
столкновений с Венерой астероидов и комет, по количеству кратеров на единице площади поверхности можно было, тоже очень приблизительно, оценить средний возраст геологических образований в зоне съемки. Он был определен в 0.5—1 млрд. лет. Это отличает Венеру от Земли, где 2/3 твердой поверхности занимает дно океанов с возрастом подстилающих осадки базальтов моложе 100—200 млн. лет. Прекрасная сохранность всех наблюдаемых на изображениях вулканических, тектонических и ударных (кратеры) образований, большой возраст поверхности говорят об очень низкой интенсивности изменений различных форм рельефа ветровой эрозии или аккумуляцией, химическим выветриванием и другими поверхностными факторами. Впрочем, некоторые исследователи полученную оценку возраста подвергали сомнению, так как при разрешении изображений в 1—2 км аргументы в пользу того, что тот или иной кратер является ударным, а не вулканическим, убеждали не всех.

Анализ данных «Венеры-15, -16» привел к выводу о том, что в пределах зоны съемки нет признаков «тектоники плит» — типичной для Земли глобальной организации геологической активности, для

которой характерно разделение верхней жесткой оболочки — литосферы — на несколько крупных, горизонтально передвигающихся относительно друг друга, плит. Главной движущей силой вулканических и тектонических процессов на Венере, по результатам анализа данных «Венеры-15, -16», представлялись вертикальные, восходящие и нисходящие, движения вещества недр планеты за счет тепловых неоднородностей — так называемых «горячих пятен». Горячие пятна существуют и в геологии Земли, но роль их все-таки второстепенна. Они обычно проявляются на фоне движущихся литосферных плит, например, в виде цепочки вулканов внутри одной плиты. На Венере «горячие точки», очевидно, являются причиной формирования упоминавшихся выше венцов и некоторых других образований.

Результаты съемки «Венеры-15, -16» привели к открытию ключевых элементов геологии Венеры. Впервые в этой области на смену догадкам пришло твердое знание. Было установлено, что эндогенные геологические процессы — базальтовый вулканизм и разломная тектоника — господствуют над экзогенными процессами. Не обнаружено никаких следов деятельности жидкой воды

*Изображение вулканического плато Лакшми и окружающих его горных сооружений, полученное космическими аппаратами «Венера-15, -16». Некоторые исследователи находят сходство в строении этого района и Тибетского плато на Земле. Здесь и далее на плановых изображениях север — наверху. Площадь 2000×2500 км.*



*Участок вулканической равнины с извилистыми грядами к северо-востоку от горы Ушас. В верхней части изображения виден небольшой вулкан с веером радиосветлых отложений к югу от него. Равнина и осложняющие ее гряды рассечены сеткой прямолинейных трещин. Площадь 40×60 км. Это и последующие изображения получены космическим аппаратом «Магеллан».*

на планете. Это обстоятельство и некоторые особенности распределения ударных кратеров по размеру показали, что условия, близкие к современным, были на Венере на протяжении всего прослеженного в глубь отрезка геологической истории планеты. Прекрасная сохранность вулканических и тектонических образований на Венере делает ее поверхность чем-то вроде наглядного пособия по изучению вулканических и тектонических процессов на планетах, включая Землю.

Однако съемкой было покрыто лишь около 25% поверхности планеты, и геология незаснятых районов может быть существенно иной. Уже говорилось, что разрешение изображений в 1—2 км оказалось недостаточным для понимания возрастных взаимоотношений между многими наблюдаемыми образованиями поверхности, а это не давало возможности анализировать геологическую историю планеты. Поэтому следующим шагом в изучении Венеры была миссия «Магеллана».

#### РЕЗУЛЬТАТЫ СЪЕМКИ «МАГЕЛЛАНА»

Мы приводим здесь сжатое описание основных результатов миссии «Магеллан»

по состоянию на конец 1994 — начало 1995 г. Это в основном результаты анализа изображений. Данные по гравитационному полю Венеры прошли лишь первичную обработку и только начинают осмысливаться. При описании результатов «Магеллана» мы часто будем сопоставлять их с результатами «Венеры-15, -16». Во-первых, для того, чтобы показать, какой действительно большой вклад в понимание геологии Венеры внесла миссия «Магеллан». А во-вторых, чтобы напомнить, что изучение геологии этой планеты началось все-таки не с «Магеллана».

Съемка «Магеллана» показала, что в основных своих чертах геологическое строение Венеры не отличается от такового в зоне съемки «Венеры-15, -16». На планете резко преобладают, занимая около 85% площади, вулканические, очевидно, базальтовые равнины, а среди них наиболее распространены разновидности с гладкой (в масштабе изображений) поверхностью, осложненной сетью узких извилистых полого-склонных гряд. Такие гряды известны также на вулканических равнинах Луны и Марса и считаются структурами коробления поверхности при сжатии. Кроме равнин с извилистыми грядами наблюдаются, занимая



*Мозаика изображений «Магеллана», покрывающая целое полушарие Венеры. Через центр изображения проходит меридиан 180°. Светлые полосы — рифтовые зоны восточной части Земли Афродиты в области Атла. Светлые пятнышки в темном окружении — молодые ударные кратеры. Их пыльные выбросы хорошо поглощают радиоволны, и поэтому на радарном изображении они темные. Темный треугольник в нижней части диска — пропуск в съемке.*

сравнительно небольшие площади, участки равнин с поверхностью, густо покрытой трещинами (структуры растяжения) или смятой в протяженные пояса широких гряд (структуры сжатия), или же практически не нарушенной никакими, различимыми на

снимках, тектоническими деформациями. Снимки «Магеллана» позволили установить, что гладкие равнины с ненарушенной поверхностью моложе равнин с извилистыми грядами, а две другие упомянутые разновидности равнин — древнее. Все это помогает понять последовательность событий, сформировавших равнины Венеры, т.е. геологическую историю 85% ее поверхности.

Если попытаться найти какие-то аналогии с Землей, то по масштабу явления вулканические равнины Венеры следует сопоставлять с базальтовыми равнинами дна Мирового океана. Правда, последние в значительной мере перекрыты осадочным чехлом, которого на Венере фактически



*Самый высокий на Венере вулкан Маат (9 км над средним уровнем поверхности планеты). Это перспективное изображение синтезировано с помощью компьютера путем объединения изображений, полученных в режиме бокового обзора, с результатами измерений высотомера. Вертикальный масштаб больше горизонтального в 10 раз. Лавы вулкана Маат затопляют равнину с извилистыми грядками и выбросами из ударного кратера (справа от центра). Ширина поля зрения около 650 км*

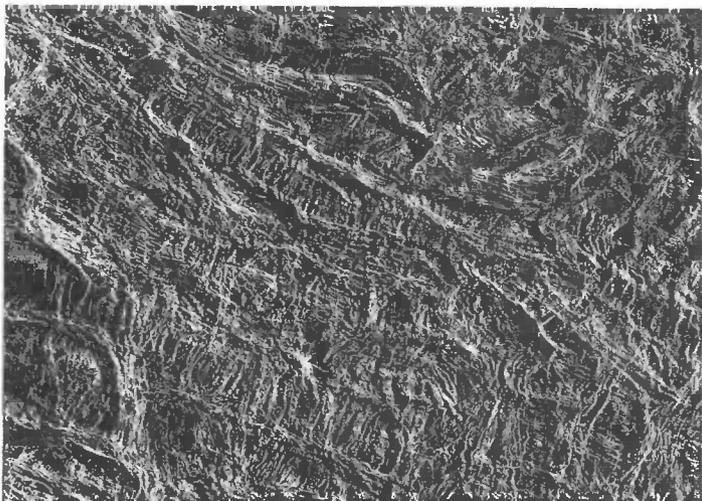
нет. По тектонической обстановке образования ее равнины, по-видимому, ближе к областям траппового вулканизма на Земле, таким как траппы Тунгусской синеклизы в Сибири или плато Декана в Индии.

«Континенты» и «острова» тессер среди равнин занимают в общей сложности около 8% поверхности планеты. Тессеры древнее всех упомянутых разновидностей равнин, материал которых в контакте с тессерами заходит внутрь тессерных блоков по понижениям в рельефе. Создается впечатление, что тессеры образуют фундамент под значительной частью равнин, а может быть, и под всеми равнинами. Из анализа снимков «Магеллана» следует, что в истории тектонических нарушений, сформировавших наблюдаемый облик тессер,

можно выделить более ранний этап деформаций сжатия и последовавший за ним этап деформаций растяжения. Тессерообразующие деформации столь интенсивны и густы, что характер местности, которая была преобразована в тессеры, и природа слагающего их материала (базальты или что-либо другое) не ясны.

Среди земных образований прямых аналогов тессер Венеры нет. По сочетанию сильной нарушенности тектоническими деформациями и роли фундамента для слабо нарушенного деформациями материала равнин просматривается некоторая аналогия тессер Венеры с докембрийским складчатым фундаментом платформ Земли. Но, может быть, такая аналогия — не более, чем образная констатация того, что тессеры на Венере и складчатый фундамент платформ на Земле — это следы этапа интенсивных тектонических деформаций, сменившегося этапом относительного тектонического спокойствия.

И равнины, и тессеры рассекаются протяженными (тысячи километров), сложно построенными желобами, образованными рядами тектонических разломов. По топографии и морфологии они похожи на так называемые рифтовые зоны Земли и,



*Участок тессеры Альфа в Южном полушарии Венеры. Облик поверхности тессер — результат многократных тектонических деформаций, которые предшествовали вулканическим излияниям, сформировавшим равнины Венеры. Площадь 120×160 км.*

видимо, имеют ту же природу. Рифтовые зоны Земли — это тектонические структуры, которые образуются в обстановке растяжения по границам литосферных плит (например, рифт Срединно-Атлантического хребта) или внутри плит (например, Байкальский рифт). С ними, как правило, связаны вулканические излияния. С рифтовыми зонами Венеры тоже связана вулканическая активность в форме равнинообразующих лавовых полей или в виде крупных (сотни километров в поперечнике), но очень пологосклонных вулканов, возвышающихся над прилегающими равнинами на 3—9 км. Судя по морфологии этих образований, лавы, связанные с рифтовыми зонами Венеры, имеют базальтовый состав.

На поверхности равнин планеты в ряде мест, зафиксированных на снимках «Магеллана» обнаружены загадочные «русла» длиной от сотен до нескольких тысяч километров и шириной от 2—3 до 10—15 км. Они имеют типичные признаки долин, прорезанных течением какой-то жидкости, — меандровидные извилины, расхождение и схождение отдельных «протоков», а в редких случаях — нечто вроде дельты. В начале самого длинного русла, названного долиной Балтис, протяженностью около 7000 км при очень выдержанной (2—3 км) ширине находится вулкан поперечником около 100 км. Морфология его — весьма заурядная, типичная для базальтовых вулканов. Кстати, северная часть долины Балтис была обнаружена еще на снимках «Венеры-15, -16». Но разрешение изображений было недостаточно высоким, чтобы различить детали этого образования, и оно было

закартировано как протяженная трещина неясного происхождения.

Остается загадкой, какая жидкость прорезала эти русла. Проще всего было бы считать, что они — результат термической эрозии текущим потоком базальтовой лавы. Но расчеты показывают, что на пути длиной 7000 км у потока базальтовой лавы не хватит запаса тепла, чтобы безостановочно течь и подплавлять вещество базальтовой же равнины, прорезая в ней русло. Вероятнее всего это, например, сильно перегретые коматитовые лавы или еще более экзотические жидкости вроде расплавленных карбонатов или расплавленной серы.

Небольшие (сотни метров в длину) лавовые русла известны у некоторых земных базальтовых вулканов. Образования до нескольких десятков километров в длину, видимо, родственные каналам на Венере, есть и на Луне. Их считают результатом термической лавовой эрозии базальтовых равнин лунных морей. Однако лавовые русла Земли и Луны все же существенно меньше русел Венеры, так что загадка происхождения последних остается нерешенной.

Открытые в ходе съемки «Венеры-15, -16» кольцевые структуры венцов на снимках «Магеллана» обнаружили существенные детали их строения. Кольцевое обрамление этих структур, обычно поперечником от 150 до 1000 км, состояло из систем густой или разреженной трещиноватости широкой или узких гряд с общим концентрическим или радиально-концентрическим рисунком. Часть этих структурных элементов моложе окружающих равнин,

*Слева — протяженные хребты самых высоких (11 км над средним уровнем поверхности) на Венере гор Максвелла. Справа — западная часть тессеры Фортуны, полузатопленная равнинобразующими лавами. В центре — ударный кратер Клеопатра диаметром около 100 км. Центральная депрессия его дна также затоплена лавами. Вероятно, это результат вулканизма, спровоцированного ударом, который образовал кратер. Возможно, деформации сжатия, сформировавшие горы Максвелла, предшествовали образованию более сложного тектонического рисунка тессер. Площадь 270×350 км.*



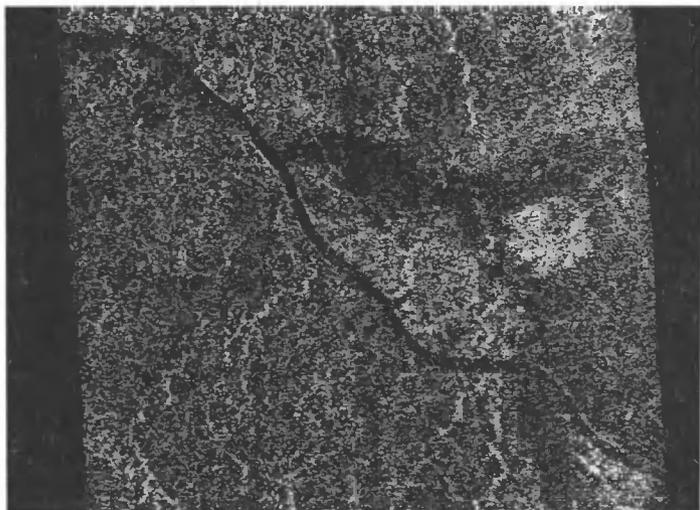
часть — древнее, что говорит о многоактном характере образования венцов. Явные аналоги венцов Венеры на других планетных телах земной группы не известны. На Земле описаны неясно выраженные кольцевые структуры такого же размера. Природа этих земных структур — предмет споров. Некоторые исследователи полагают, что это — тектонические образования. Другие видят в них следы уничтоженных последующими процессами ударных кратеров. Третьи вообще не признают реальность значительной части подобных структур.

На заснятых «Магелланом» 98% поверхности планеты удалось обнаружить около 930 ударных кратеров диаметром от 2 до 280 км. Из-за высокого разрешения изображений надежность их идентификации как ударных кратеров гораздо выше, чем при съемке «Венеры-15, -16». Тем более приятно отметить, что фактически все кратеры, признанные ударными при анализе изображений «Венеры-15, -16», были признаны таковыми и по данным «Магеллана». На его снимках удалось увидеть некоторые неожиданные стороны процесса образования ударных кратеров в условиях Венеры. Оказалось, что у многих кратеров часть выбросов ведет себя как жидкотекучая субстанция, образуя направленные обычно в одну сторону от кратера обширные потоки длиной в десятки километров, а иногда и больше. Неясно, что это течет — перегретый ударный расплав или суспензия тонкообломочного твердого вещества и капелек расплава, взвешенная в плотном ( $65 \text{ кг/м}^3$ ) газе приповерхностной атмосферы.

По количеству ударных кратеров на Венере средний возраст геологических образований ее поверхности, по данным «Магеллана», оценивается примерно в 300—500 млн. лет. Расхождение с упоминавшимися выше оценками, по данным «Венеры-15, -16» (0,5—1 млрд. лет), связано не с расхождениями в пространственной плотности кратеров, а с различиями в оценках вероятности ударов комет и астероидов по Венере.

Важным свойством популяции ее ударных кратеров является характер их распределения по поверхности, не отличный от случайного, а также то, что подавляющее большинство кратеров явно не затоплено лавами окружающего равнин и не нарушено окрестными тектоническими деформациями, а выглядит наложенным и на равнины, и на тессеры. Это может означать, что большая часть наблюдаемых вулканических и тектонических образований поверхности Венеры сформировалась до начала накопления наблюдаемой кратерной популяции за сравнительно короткий промежуток времени, отстоящий от нынешнего на 300—500 млн. лет. Но одновременно это значит, что вулканические и тектонические образования, на которые наложены кратеры, сформировались очень быстро. Время образования должно быть гораздо меньше 300—500 млн. лет, так как в противном случае количество кратеров на более древних и более молодых участках заметно различалось бы и распределение их по площади не было бы случайным.

Предполагалось, что последующая вулканическая и тектоническая активность



*Лавовое русло (ширина 1–2 км) на равнине Навки. Площадь 20×17 км.*

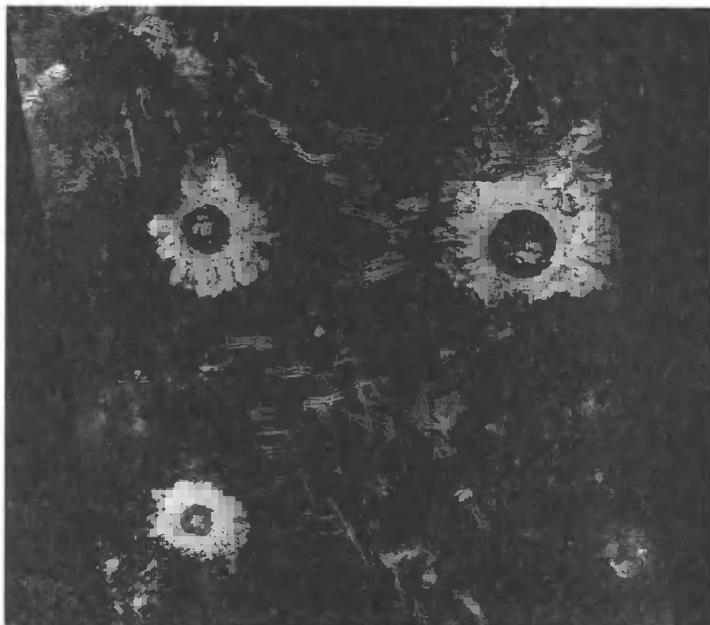


*Равнины экваториальной зоны Венеры. Слева и ниже центра — вулкан Хенг-О, второй по величине (диаметр 1000 км) на планете. Многочисленные вулканы меньшего размера видны в основном в правой части изображения. Светлые полосы выше центра — рифт Гуор-Линия. На его северо-западном окончании находятся вулканы Сиф и Гула. Черные дуговые полосы — пропуски в съемке по техническим причинам. Площадь 4500×4500 км.*

была достаточно локальной (рифтовые зоны, крупные вулканы, некоторые лавовые поля). Эта идея сначала воспринималась с большим подозрением, но постепенно завоевала большое число сторонников. Эпизод массовых вулканических излияний и интенсивных тектонических деформаций стали называть «тепловым катаклизмом», или «глобальной катастрофой». Сейчас активно обсуждаются причины такого катаклизма на Венере и возможность таких катаклизмов в истории Земли.

Эта красивая идея — не единственно возможное объяснение случайного характера распределения ударных кратеров по поверхности и незначительной их измененности вулканическими и тектоническими процессами. Предложен и альтернативный вариант — модель равновесного обновления поверхности. Согласно этой модели, кратерная популяция на Венере — результат динамического равновесия между образованием кратеров и их разрушением вулканическими и тектоническими процессами. При

Три ударных кратера на равнине Лавинии. Диаметр наименьшего из них 37 км, наибольшего — 50 км. К северу от самого большого виден исходящий от вала поток, образованный перегретым ударным расплавом или суспензией тонкой фракции выбросов в плотной атмосфере Венеры. Площадь 500×500 км.



Район посадки «Венеры-13». В центре — крутосклонный вулканический купол размером 30×45 км. Светлые узкие полосы — это трещины, пересекающие вулканическую равнину. Номинальное место посадки в левом верхнем углу изображения.



этом интенсивность вулканической и тектонической активности, если рассматривать планету в целом, остается примерно постоянной, но проявляется она в небольших по площади зонах, которые в разных местах планеты существовали в различное время. В таких локальных зонах активности ранее образованные кратеры уничтожаются, а после затухания активности образуются новые. Моделирование по методу Монте-Карло показывает, что наблюдаемое случайное распределение кратеров на Венере

могло быть результатом такого динамического равновесия между образованием и разрушением, если поперечник локальных зон был порядка 400 км или менее. Если же размеры зон активности заметно больше, то образуются проплешины и сгущения кратеров, и распределение перестает быть случайным.

Чтобы в сформированной таким образом популяции кратеров преобладали (как это наблюдается на Венере) не затронутые наложенной вулканической и

тектонической активностью, локальная активность должна быть достаточно мощной, для обеспечения не просто повреждения кратеров, но их полного уничтожения. Эта сторона явления труднее поддается теоретическому моделированию, и получить достаточно убедительные факты о соответствии модели наблюдаемым фактам пока не удастся.

Очевидно, что обоснованный выбор между моделями глобальной катастрофы и равновесного обновления поверхности, а может быть, создание какой-то принципиально новой модели требуют более тщательного анализа изображений, и такой анализ сейчас проводится. Два года назад НАСА начало финансировать программу сплошного геологического картирования Венеры по данным «Магеллана». Около 20 научных коллективов стали детально анализировать изображение и составлять геологические карты отдельных регионов. В перспективе эти региональные карты должны слиться в единую геологическую карту Венеры. В ходе изучения изображений, а также из анализа уже составленных карт можно будет уточнить, существовали ли в действительности упоминавшиеся зоны локальной активности и были ли в них вулканизм и тектоника достаточно мощны, чтобы большинство кратеров разрушить без следа. Если удастся провести обоснованную корреляцию стратиграфических подразделений в разных районах Венеры, то можно будет понять — был ли действительно на этой планете кратковременный катаклизм мощной вулканической и тектонической активности. В общем для понимания характера геологической истории Венеры и сравнения с другими планетами земного типа эта программа должна дать очень много. Впрочем, радужные перспективы серьезно омрачаются тем обстоятельством, что вскоре после начала программы, ссылаясь на нехватку денег, НАСА прекратило ее финансирование. Работа продолжается, но, как это принято у нас говорить, на общественных началах. А хорошо известно, что это не самый эффективный способ организации работ.

#### НАШ ВКЛАД

У читателя «Природы», как нам кажется, должен возникнуть вопрос: а что же конкретно удалось сделать российским гостям-исследователям? Не зря ли они потратили деньги наших и американских налогоплательщиков? Отвечаем: «Не зря!»

А. Т. Базилевский вместе с коллегами из ГЕОХИ РАН и Лаборатории реактивного движения пытался понять — есть ли разница в геологическом строении районов посадки, где измеренный состав материала поверхности в точке посадки близок к толеитовым базальтам («Венера-9, -10, -14», «Вега-1, -2»), и тех, где поверхность сложена материалом геохимически более дифференцированным, чем толеит («Венера-8 и -13»). Это не просто праздное любопытство — отличается или нет? Ему предшествовало длительное переосмысление результатов определений состава поверхности космическими аппаратами серии «Венера» — «Вега» в свете тех представлений о геологии Венеры, которые получены съемкой «Венеры-15, -16». Возникли серьезные подозрения, что, может быть, на Венере есть не только базальтовая кора, но и участки коры иного, небазальтового состава. Двучленность коры по составу характерна для Земли, Луны и, видимо, для Меркурия и Марса. Если на Венере есть только базальтовая кора, то эта планета становится странным исключением из общего правила.

Были изучены результаты съемки районов посадки, и различия были найдены. Выяснилось, что в местах посадки с более дифференцированным материалом наблюдаются крутосклонные вулканические купола, а там, где измерен толеитовый состав, их нет. Такие вулканические купола на Земле сложены лавами среднего и кислого состава, т. е. веществом более дифференцированным, чем базальты. Крутосклонные купола в районах посадки занимают незначительную долю площади, и вероятность того, что и «Венера-8», и «Венера-13» сели именно на них, невелика. А потому возможно, что в этих районах геохимически дифференцированное вещество присутствует не только в форме куполов, но и составляет часть равнинообразующего материала. А если это так, то устоявшееся мнение, что на Венере ничего существенного, кроме базальтов, нет, может оказаться спорным.

Строго говоря, крутосклонные купола Венеры могут быть сложены не каким-то дифференцированным веществом, а обыкновенными базальтами. Если базальтовая лава насыщена газовыми пузырьками (а условия на Венере как будто этому благоприятствуют), то вязкость лавы сильно возрастает и при извержении она может образовать крутосклонный купол. Впрочем, это не нарушает замеченной связи между составом материала поверхности и присут-

ствием самих куполов, хотя и делает причинную сторону этой связи еще более малопонятной.

Кроме того, вместе с коллегой из Университета Брауна (штат Провиденс, США) А. Т. Базилевский анализировал снимки «Магеллана» из 36 крупных (1000×1000 км) районов Венеры, чтобы понять, можно ли возрастные последовательности геологических образований в каждом из районов объединить в модель глобальной стратиграфии планеты и проверить ее в ходе упоминавшейся выше программы глобального геологического картирования Венеры. Первые результаты обнадеживают. Работа продолжается.

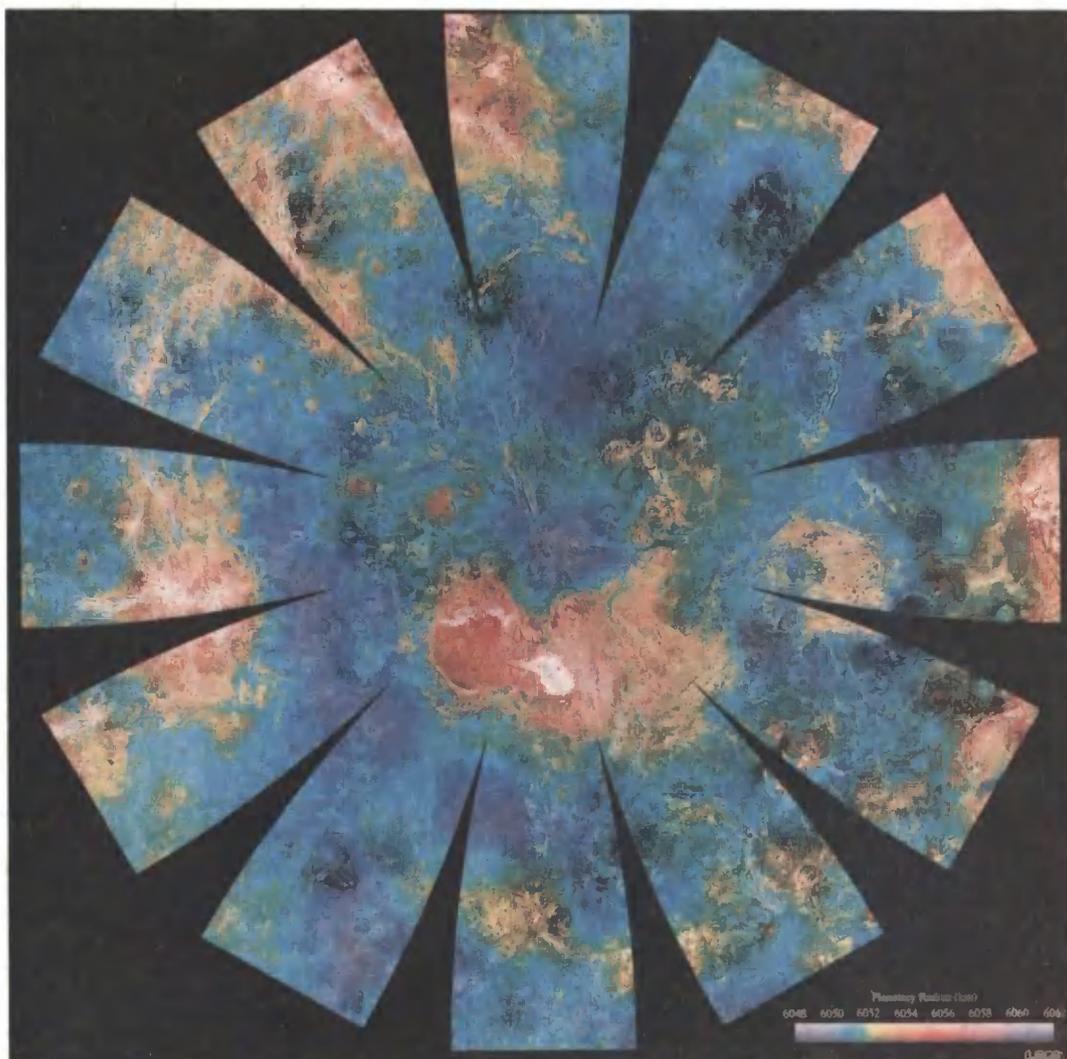
Одной из совместных задач других исследователей было уточнение периода и ориентации оси вращения Венеры. Последнее на языке профессионалов формулируется как уточнение координат Северного полюса планеты в инерционной системе координат. Решение этой задачи, важной для небесной механики и астрономии, необходимо также для осуществления будущих полетов к Венере с точной посадкой в выбранные районы. Данные радиолокационной съемки, полученные с помощью «Магеллана» и «Венеры-15, -16», вместе с длительными наземными наблюдениями за движением космических аппаратов дали для этого богатый материал. Доплеровские измерения, проведенные территориально сетью наземных станций слежения, были положены в основу определения орбит «Магеллана» и «Венеры-15, -16». Несмотря на различие в длинах волн радиолокационных систем «Венеры-15, -16» и «Магеллана», углов обзора поверхности, направлений съемки, а также разрешающей способности, видимые на радарных изображениях детали рельефа очень похожи. Измерение их положения относительно орбиты космического аппарата позволяет вычислить их координаты на поверхности. Сравнение координат одних и тех же деталей поверхности по данным космических экспериментов, разделенных более чем 6-летним интервалом между съемками (а за это время Венера совершила около 10 оборотов вокруг своей оси), позволяет уточнить период вращения планеты. Значительный угол между плоскостями орбит аппаратов «Венера» и «Магеллан» (примерно 50°) дает возможность уточнить направление оси вращения Венеры.

Во время посещения наших коллег в Пасадене мы обсуждали список выбираемых опорных точек поверхности. Они должны быть достаточно малы по разме-

рам и в то же время уверенно отождествляться на изображениях «Венеры-15, -16» и «Магеллана». Мы также сравнивали используемые в расчетах нами и американцами математические модели, методики обработки данных и анализировали промежуточные результаты. А в стенах родных организаций, в интервалах между поездками, шла основная часть работы. Дело в том, что для получения необходимых точностей определения параметров вращения планеты требовалось хорошее знание орбиты космических аппаратов. Ведь исходные данные о положении опорных точек — это расстояние и радиальная скорость точки относительно аппарата.

Была создана сложная математическая модель движения «Венер». В рамках этой модели движение спутников «Венера-15, -16» происходит в гравитационном поле Венеры и возмущается вследствие нецентральности этого поля, гравитационного влияния Солнца и планет, а также торможения очень разреженной верхней атмосферой и влияния светового давления на поверхность спутников. Наблюдения за движением «Венер» выявили еще одну важную составляющую эволюции их орбит. Она обусловлена возмущениями в движении центра масс спутника, возникающими вследствие работы его системы ориентации (разнотяговость двигателей в паре сил, обеспечивающих вращательное движение спутника вокруг каждой из двух осей). Так как система ориентации работала регулярно на каждом съемочном витке, то на любом из них действовали вызываемые этой системой возмущения орбиты. Значение и направление указанных возмущающих ускорений изменялись от витка к витку. Для учета этих возмущений создана математическая модель механизма их появления, которая содержит параметры, определяемые по траекторным измерениям.

Для уточнения орбит «Венеры-15, -16» были привлечены, наряду с наземными измерениями траекторий, бортовые радиолокационные и доплеровские измерения, проведенные для одних и тех же точек поверхности планеты на различных витках спутников. С этой целью из радиолокационного картографирования выбрано около 5000 замеров, относящихся к различным деталям отснятой «Венерой-15, -16» части поверхности планеты. Для них использованы также данные бортового радиовысотомера. Для повышения точности определения траектории спутников «Венера-15, -16» предложена методика обработки, позволившая динамически увязать указанные измерения



*Заготовка для нового глобуса Венеры. Равнины, составляющие большую часть поверхности Венеры, показаны синими и зелеными тонами, возвышенности — желто-коричневыми, самые высокие горы — светло-розовыми.*

на всем интервале радиолокационного картографирования Венеры космическими аппаратами. В результате ошибки, обуславливаемые положением космического аппарата, не превышают элемента изображения на радарных картах «Венер». Период вращения планеты и координаты ее Северного полюса, полученные в результате совместной обработки бортовых радиолокационных и доплеровских измерений «Магел-

лана» и «Венеры-15, -16» для 20 опорных точек поверхности Венеры, оказались следующими:

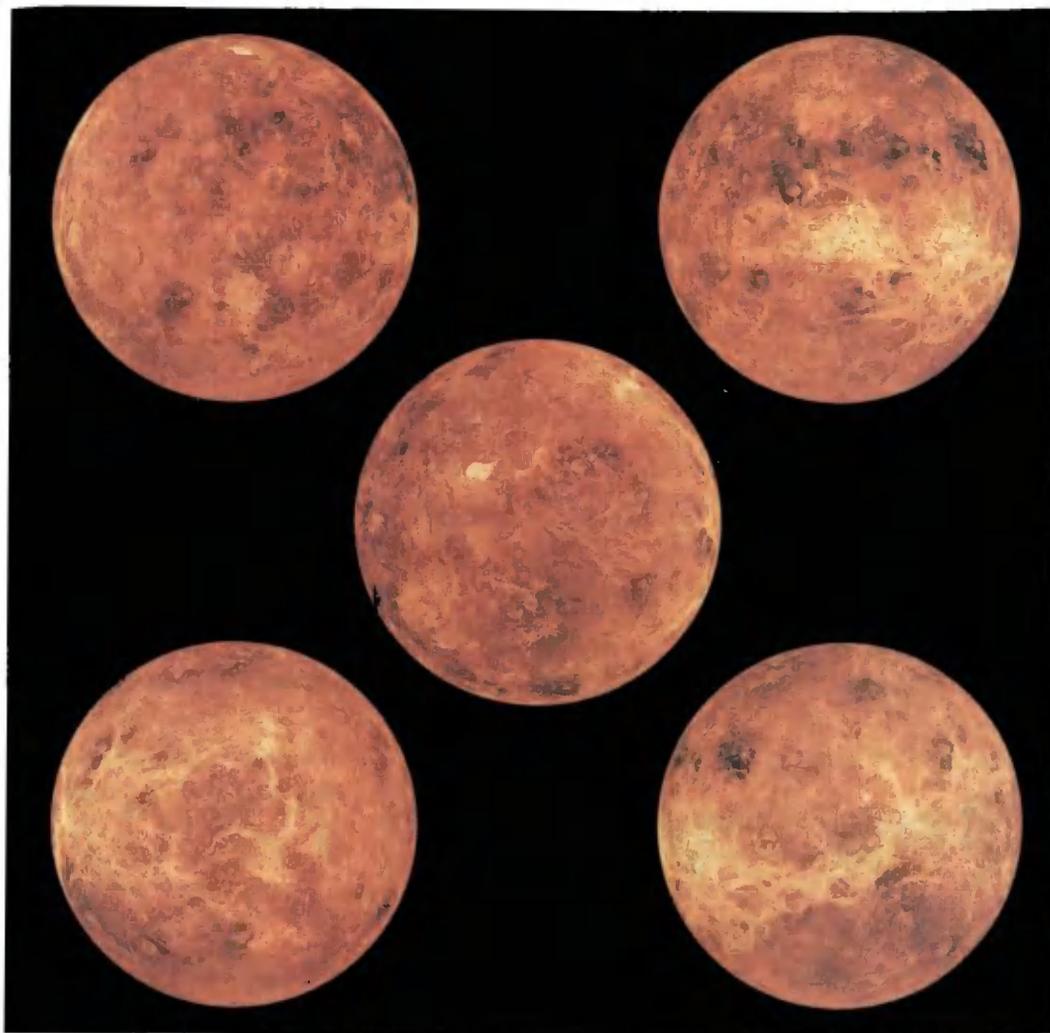
Период вращения  $T=243.0183\pm 0.0010$  земных суток

Прямое восхождение  $\alpha=272^{\circ}.57\pm 0^{\circ}.05$

Склонение  $\delta=67^{\circ}.14\pm 0^{\circ}.02$

Они с хорошей точностью подтверждают оценки этих параметров, полученные только по данным миссии «Магеллан».

Известно, что Венера находится в сложном орбитально-вращательном резонансе с Землей: на каждые восемь лет (орбитальных периодов Земли) приходится 13 оборотов Венеры вокруг Солнца и 12 ее оборотов вокруг собственной оси.



*Полное мозаичное изображение Венеры по данным съемки «Магеллана». Среднее изображение центрировано на Северном полюсе. Другие четыре — на экваторе Венеры на долготе 0° (вверху слева), 90° (вверху справа), 180° (внизу справа) и 270° (внизу слева).*

Поэтому в момент соединений с Землей (наибольших сближений этих планет) Венера повернута к Земле всегда одной своей стороной. Этот резонанс, однако, не абсолютно точен. Период вращения Венеры постоянен с высокой точностью, но период соединения Земля — Венера под действием возмущений остальных планет имеет долгопериодные вариации в своем пятом знаке.

Поэтому в момент противостояния к Земле обращена не одна и та же точка венерианской поверхности, а некоторая область на Венере. Ее положение и размеры уточняются в ходе дальнейшей обработки данных «Магеллана».

Итак, космический аппарат «Магеллан» закончил свое существование, но миссия «Магеллана» в широком, не техническом, смысле слова продолжается. Стали гораздо яснее многие ключевые черты геологии Венеры. Несомненно, еще больше прояснится в ходе дальнейшего анализа данных. Но через призму достижений этой миссии отчетливо видны очень

важные проблемы, которые она просто по набору технических средств решить не могла и не сможет, а решать их надо. По сути это одна сверхпроблема: геологическая история коры и недр Венеры. Но по подходам она разделяется на три группы исследований: геофизические, геохимические и геологические.

Из геофизических задач наиболее актуальным представляется получение информации о строении глубоких недр Венеры и уровне ее современной сейсмической активности. Для этого на поверхности Венеры должна заработать сеть сейсмометров. Из геохимической группы первоочередными кажутся проблемы состава коры (только базальты или существенное присутствие чего-то еще) и окислительно-восстановительного состояния и состава микрокомпонентов в нижней атмосфере планеты. Для их решения нужны посадки на поверхность Венеры космических аппаратов

с геохимической аппаратурой нового поколения. Из геологических вопросов наиболее интересным представляется попытка заглянуть за рубеж 300—500 млн. лет, в дотессерный этап геологической истории Венеры, а также увидеть с высоким разрешением места посадки прошлых и будущих космических аппаратов, чтобы надежно связать результаты их измерений с геологией районов. Нужно «посмотреть» на тессеры и районы посадки с разрешением не менее нескольких метров. Как это сделать, пока неясно. В общем, время готовиться к новым полетам к Венере.

Авторы выражают благодарность за прекрасную организацию их работы в качестве гостей-исследователей проекта «Магеллан» НАСА, Лаборатории реактивного движения и Министерству науки и технической политики России за финансовую поддержку той части программы, которая проводится в России (грант «Афродита»).

## РЕКЛАМА, ОБЪЯВЛЕНИЯ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЙ АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# Звездочет<sup>★</sup>

**В 1996 году наших читателей ждет:**

- ✓ увеличение объема на 25%
- ✓ новые рубрики и статьи-сериалы
- ✓ ежемесячный "Небесный календарь" на 6 страницах
- ✓ больше места для бесплатных объявлений
- ✓ оперативное приложение "НЕБЕСНЫЙ ЭКСПРЕСС"

**Популярные рубрики:**

- "Новости астрономии", "Мир вокруг нас",
- "Астрономия в картинках", "История неба",
- "Из первых рук", "Занимательная астрономия", ...

**Практические советы:**

- "Наблюдаем сами", "Дневник наблюдателя",
- "Астрофотография", "Сидя за компьютером",
- "Телескопостроение", "Справочная страничка", ...

**Астрономия — это наука доступная всем!**

Подписавшись на ЗВЕЗДОЧЕТ, Вы сможете приобщиться к ее последним достижениям и внести лепту в ее развитие.

подписной индекс

# 72907

в каталоге агентства "Роспечать"

СВЕЖИЕ  
НОВОСТИ

МНОГО  
ИЛЛЮСТРАЦИЙ

СВОЕВРЕМЕННЫЙ  
ВЫХОД 12 РАЗ В ГОД

Контактный телефон: (095) 250-09-85  
Адрес: 121002, Москва, а/я №2

Факс: (095) 251-27-33  
E-mail: stargaz@mx.iki.rssi.ru

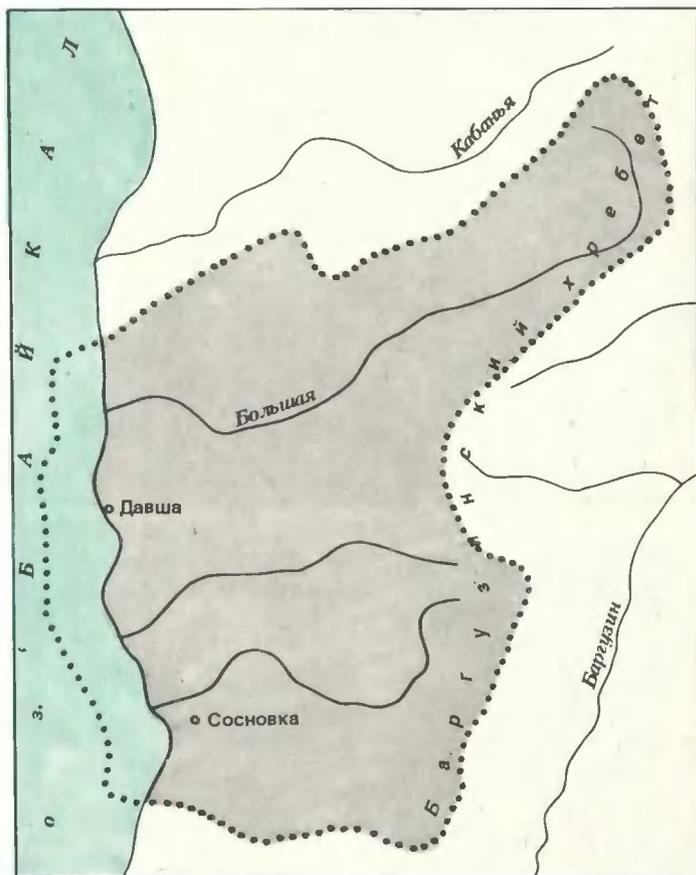
# Баргузинский биосферный заповедник

Е. М. Черников,  
кандидат биологических наук  
пос. Давша

**И**СТОРИЯ создания этого заповедника связана, как известно, с баргузинским соболем. Пушной промысел, традиционно занимавший в экономике России важное место, в конце XIX — начале XX в. пришел в упадок. Повышенный спрос на пушнину привел к сокращению численности ценных видов животных и в первую очередь соболя, некогда населявшего таежные леса от Северного Предуралья до Сахалина и Камчатки.

В связи с этим по инициативе известного русского охотоведа А. А. Силантьева были организованы экспедиции по созданию соболиных заповедников в верховьях Енисея, на Камчатке и северо-восточном побережье Байкала.

Баргузинская экспедиция (в составе Г. Г. Дюпеля, К. А. Забелина, З. Ф. Сватоша, А. Д. Батурина и Д. Н. Александрова) в течение 1914—1915 гг. обследовала западные склоны Баргузинского хребта от п-ова Святой Нос на юге до р. Фролихи на севере. В окончательном варианте проекта под заповедник отводилась территория (площадью 200 тыс. га) на северо-восточном побережье Байкала от р. Большой Чивыркуй до мыса Валуан. На севере к заповеднику непосредственно примыкал Баргузинский казенный охотничий участок (более 300 тыс. га), кото-

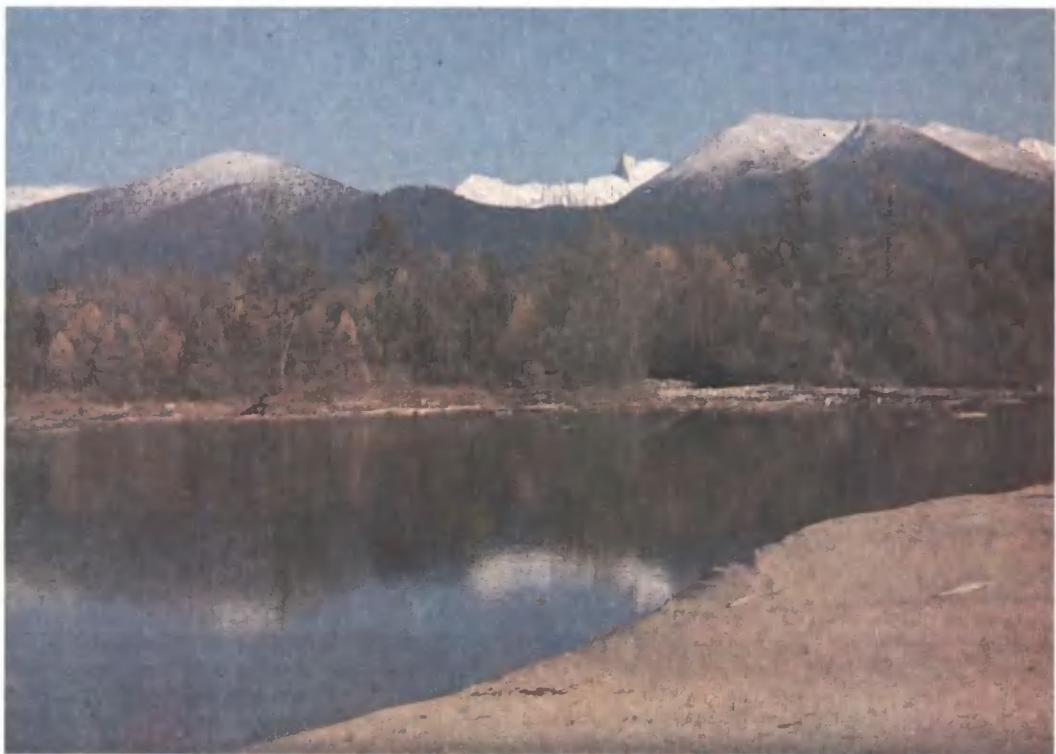


*Карта-схема Баргузинского биосферного заповедника.*

рый должен был служить экспериментальной базой для отработки наиболее рациональных приемов ведения охотничье-промыслового соболиного хозяйства.

Благодаря интенсивной деятельности исследовательской группы были быстро подготовлены необходимые материалы, и Баргузинский

заповедник открыли практически сразу после отъезда экспедиции. Он был учрежден Постановлением иркутского генерал-губернатора 17 мая 1916 г. вначале как охотничий заповедник. После необходимых формальностей 20 января 1917 г. акт местных властей был подтвержден Сенатом. Так было положено начало деятельности старейшего в России заповедника на казен-

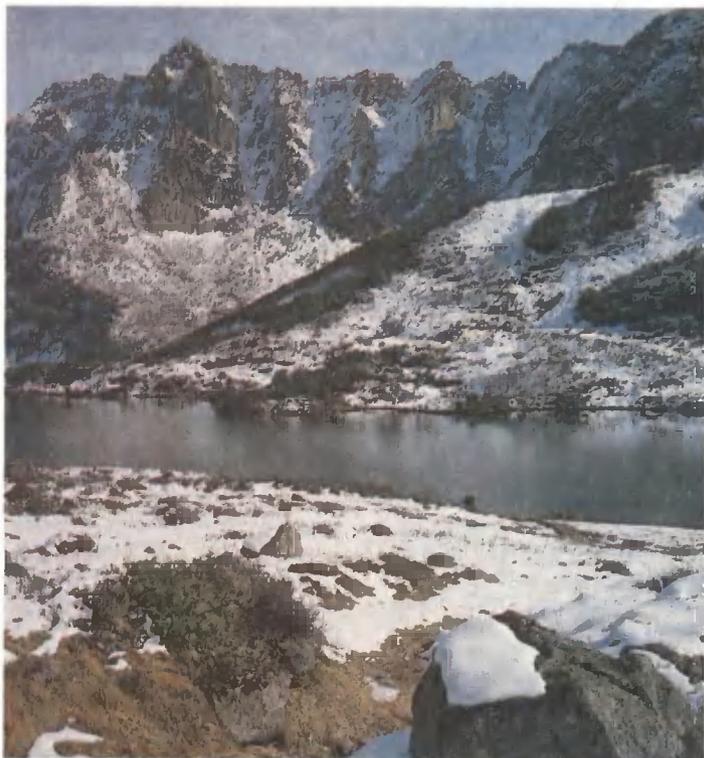


*Давшинская губа. На ее берегу расположена центральная усадьба заповедника.*

*Фото О. К. Гусева*

*Кудалдинское озеро у Сословки.*

*Фото О. К. Гусева*



*В верховьях реки Шумилихи.*

*Фото О. К. Гусева*

*Баргузинский хребет в верховьях самой крупной реки заповедника — Большой.*

*Фото О. К. Гусева*



ных, т. е. государственных землях.

Результаты же самой экспедиции опубликовали лишь спустя 10 лет в книге «Соболиный промысел на северо-восточном побережье Байкала»<sup>1</sup>. Изданная мизерным тиражом книга давно стала библиографической редкостью, но до сих пор не утратила научной и практической ценности.

В начале XX в. проблема охраны природы Сибири еще не была столь критической, и не удивительно поэтому, что Баргузинский заповедник планировался прежде всего как охотничий соболиный резерват (в чем-то близкий современному заказнику), где строго охранялись соболь и места его обитания. Архивных материалов той поры не осталось, но известно, что в заповеднике вплоть до начала 50-х годов разрешалось охотиться на медведя, крупных копытных и белку. Затем отношение к заповедникам изменилось — стал охраняться весь природный комплекс, а не отдельно какой-нибудь вид.

Судьба нашего заповедника очень сложна. В период революции, гражданской войны и послевоенной разрухи он уцелел лишь благодаря энтузиазму и самоотверженности двух уже упомянутых участников Баргузинской экспедиции — Сватоша и Забелина, ставших его первыми сотрудниками и администраторами. В 1917 г. охрана заповедника и эксплуатационного участка состояла всего из пяти человек, а жалование выплачивалось столь нерегулярно, что в 1919 г. все

егери, или стражники, как их чаще всего называли, ушли из заповедника.

Неоднократно менялись его границы: в 1937 г. площадь была увеличена до 570 879 га за счет распространения заповедного режима на эксплуатационный участок, но в 1951 г., трагическом для заповедного дела в СССР, урезана до 52 400 га, а шесть лет спустя вновь расширена до 248 146 га и введен заповедный режим на трехкилометровой прибрежной полосе Байкала (15 тыс. га).

В 1968 и 1975 гг. вдоль северной и южной границ заповедника к нему присоединили буферные, или охранные, зоны общей площадью 95 400 га.

Когда загрязнение и изменение окружающей среды приобрело глобальный характер, заповедники многих стран включились в систему контроля за состоянием биосферы. В 1986 г. и на территории Баргузинского заповедника открылась станция фонового мониторинга, а сам заповедник получил статус биосферного.

Расположенный на северо-востоке Байкала, на западных склонах центральной части Баргузинского хребта (административно — это территория Северо-Байкальского р-на Бурятии), физико-географически заповедник относится к Прибайкальской гольцово-таежной провинции и Байкальской озерной котловине в составе Байкало-Джугджурской горно-таежной области. По мнению Н. А. Флоренсова, Байкальская впадина — центральное и древнейшее звено Байкальской рифтовой зоны, возникшей одновременно с мировой рифтовой системой. Очевидно, с этим связана повышенная сейсмичность, которой отлича-

ются колоссальная Байкальская котловина и весь район Прибайкалья.

Баргузинский хребет (протяженность около 300 км) — одна из самых мощных и живописных горных цепей, окаймляющих Байкал. Наибольшей высоты (2840 м над ур. м.) хребет достигает вблизи северной границы заповедника. На поперечном разрезе хребет резко асимметричен. Западный склон, на котором располагается заповедник, более вытянут (на 40 км), чем восточный. Последний круто спускается к Баргузинской долине. Центральная часть хребта имеет резко выраженные альпийские формы. Горы, большую часть года белые от снега, настоящих ледников не имеют, но на северных склонах толщи зернистого снега в некоторых местах не успевают растаять за короткое лето.

В заповеднике хорошо выражена вертикальная поясность. Более 50% территории лежит выше 1250 м над ур. м. и относится к альпийскому (гольцовому) и субальпийскому (подгольцовому) поясам. Средние высоты, от 600 до 1200 м над ур. м., составляющие около 30% площади, относятся к горно-таежному поясу. Пояс прибрежных равнин на высоте 460—600 м над ур. м. прослеживается не везде.

Возвышенности средней высоты представляют достаточно сложную систему отрогов главного хребта, постепенно снижающихся к западу. На юге заповедника, где главный водораздельный гребень подходит близко к озеру, отроги круто опускаются к воде. В центре и на севере заповедника орорафия значительно сложнее: некоторые отроги, в форме байкаль-

<sup>1</sup> Дюппельмайр Г. Г. Соболиный промысел на северо-восточном побережье Байкала. Верхнеудинск; Л., 1926.

ских мысов, круто или уступами возвышаются над озером. Есть платообразные возвышенности с ровной или волнистой поверхностью; встречаются и изолированные от главного хребта горные массивы.

На месте расколовшихся в результате тектонических движений и опустившихся участков плато простираются предгорные равнины с невысокими холмами и грядами морен.

Главный хребет расщеплен сложной системой глубоких долин с узкими скалистыми водоразделами. На крутых склонах — обломки скал, каменные россыпи, эрозионные желоба.

Мощное четвертичное оледенение не сгладило зубчатые вершины центральной части главного хребта, но зато тщательно отшлифовало склоны и предгорья вплоть до самого Байкала. Здесь представлены все характерные элементы ледникового ландшафта. Истоки рек формируются в ледниковых цирках, или карах, в которых часто встречаются озера. Фактически все реки, начинающиеся на склонах главного хребта, текут в корытообразных, троговых долинах со скалистыми уступами (ригелями). Встречаются множество висячих долин, обломочный материал, отложенный в моренах, отполированные льдом каменные глыбы и т. д. Все это сочетается со следами современной деятельности талых и дождевых вод, селей, снежных лавин, обвалов и прочих процессов.

Трем различным по мощности фазам древнего оледенения соответствуют три пояса конечных морен, протянувшихся от берега Байкала до верховий речных долин.

Центральная часть Бар-

гузинского хребта сложена осадочно-кристаллическими и изверженными интрузивными породами, среди которых во многих местах преобладают граниты. Лишь небольшие участки, примыкающие в основном к прибрежной полосе Байкала и долинам рек, заполнены рыхлыми четвертичными отложениями<sup>2</sup>.

Одиннадцать рек и речек со многими притоками, начинаясь на склонах Баргузинского хребта, создают густую сеть. Цирки и впадины ледникового происхождения, заполненные водой, дали начало множеству горных озер в истоках рек и лесным озерам в полосе предгорий, в поясе конечных морен. Почти все реки в верховьях горные, с быстрым шумным течением и ледяной, кристально чистой водой. Особенно много их на юге заповедника, где склоны хребта круче и реки белым кипящим потоком срываются в Байкал. В местах выхода твердых коренных пород встречаются водопады и бурные пороги. В центре и на севере заповедника некоторые реки, стремительно вырываясь из горных теснин, быстро успокаиваются на равнинах и начинают петлять, образуя меандры и старицы. Кроме обычного паводка в июне, в период интенсивного таяния снега в горах, часто вода поднимается и в начале зимы. Периодически в течение всей зимы на ровных и пониженных участках речных долин и ключей образуются

наледи.

В долинах рек Езовки, Большой, Таламуш и Давше, в местах тектонических разломов, встречаются выходы термальных источников с температурой воды иногда более 70°C.

Несмотря на очень продолжительную морозную зиму, в северо-восточном Прибайкалье нет сплошной вечной мерзлоты, однако в отдельных местах, особенно на торфяных болотах, на глубине около метра попадаются линзы очаговой мерзлоты.

По классификации А. С. Мартыновой и В. П. Мартынова на территории заповедника в альпийском поясе распространены горно-луговые и горно-тундровые, а в субальпийском — горно-лесные и дерново-перегнойные почвы; в верхней части лесного пояса (до 1400 м над ур. м.) — горно-лесные подзолистые и горно-лесные дерново-подзолистые почвы, а в нижней части, под пологом лиственнично-сосновых лесов, — перегнойно-подзолистые; в зеленомошных кедрчачах и в лиственных лесах — перегнойно-подзолистые глееватые почвы, на прибайкальской равнине большие площади занимают торфяно-болотные<sup>3</sup>.

Северо-восточное побережье Байкала отличается суровым континентальным климатом. Резко выраженные черты восточно-сибирского климата здесь сочетаются с элементами морского, которые сообщает близость гигантского пресного водоема, его влияние особенно ощутимо летом и осенью.

<sup>2</sup> Ладохин Н. П. Геоморфология территории Баргузинского государственного заповедника // Фонд Главного упр. охотничьего хозяйства и заповедников, Баргузинского заповедника и Восточно-Сибирского филиала АН СССР. 1950.

<sup>3</sup> Мартынова А. С., Мартынов В. П. Почвы Баргузинского заповедника // Тр. Баргузинского гос. заповедника. 1961. Вып. 3. С. 5—21.

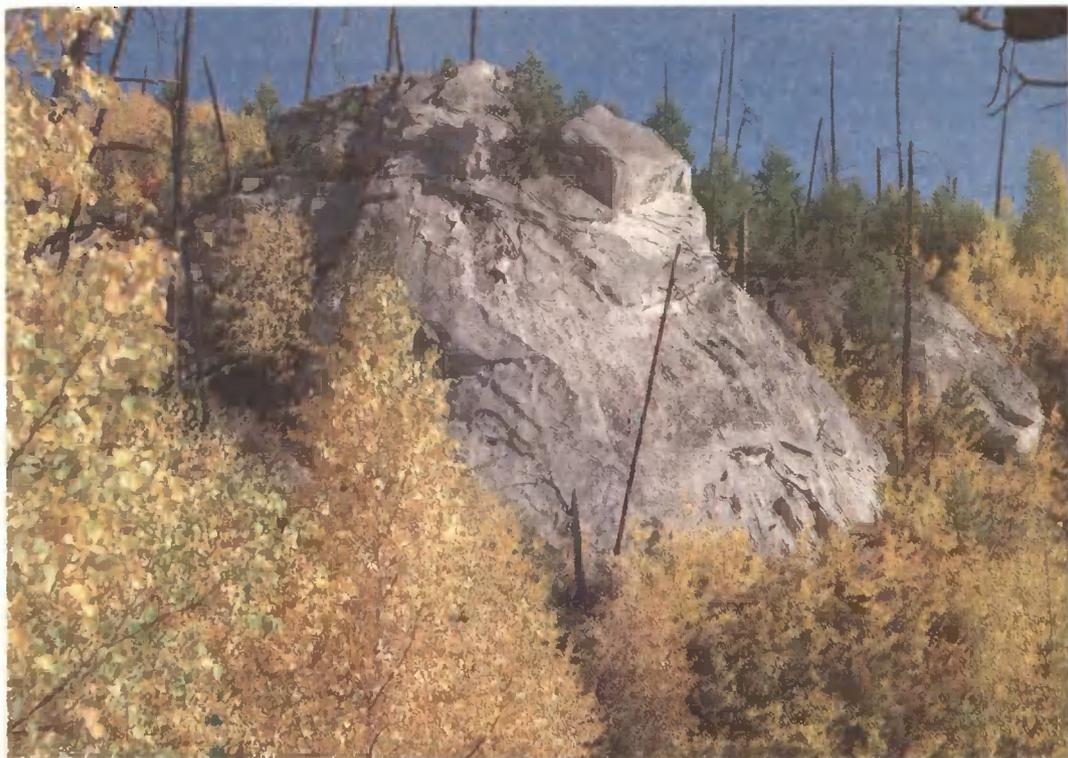


*Фенологическая поляна у  
пос. Давша.*

*Фото О. К. Гусева*

*Кедровый стланик на  
берегу Байкала растет  
в виде гигантских чащ.*

*Фото О. К. Гусева*

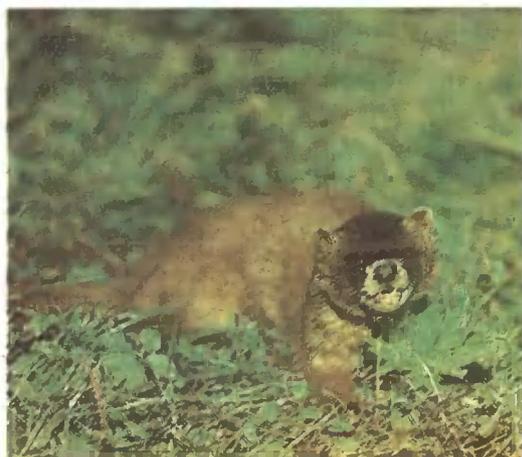


*Скалы-столбы в окрестностях пос. Давша.  
Фото О. К. Гусева*



*Баргузинский соболь — главный объект заботы  
и изучения.  
Фото В. Ф. Семенова*

*Колонок.  
Фото К. Ф. Михалкина*



Баргузинский заповедник — самый холодный участок на всем байкальском побережье: среднегодовая температура в районе пос. Давша — 4.1°C. Зима здесь начинается в конце октября и длится около 167 дней. Регулярные оттепели бывают лишь в первой декаде апреля. Около 80% зимних осадков выпадает до января. Высоко в горах снега особенно много; его толщина в альпийском поясе достигает 156—246 см, в горно-лесном — 62—103, а на побережье — 39—72 см.

В холодный период года над северо-восточным побережьем Байкала развивается восточно-сибирский антициклон, и поэтому в середине зимы, особенно в феврале, здесь преобладает ясная безветренная погода с сильными морозами. Среднесуточные температуры самых холодных месяцев — января и февраля — около -23°C.

Весна обычно вялая и холодная. Последние заморозки случаются даже в конце июня, а первые осенние начинаются уже в августе. Как правило, безморозный период длится всего 67 дней. Продолжительность лета на побережье в среднем 75 дней, а среднесуточная температура в июле +11.2°C, в августе +12.1°C.

Лед на озере у берегов заповедника исчезает лишь в первой декаде июня, и из-за низкой температуры воды часто бывают туманы (в начале лета — после каждого, даже небольшого, дождя). Ледяное дыхание Байкала задерживает развитие растений на побережье на 10—15 дней по сравнению с местами, удаленными от озера всего на несколько километров. В пос. Давше выпадает в

среднем около 400 мм осадков; из 140 мм летних осадков большая часть приходится на вторую половину июля и август.

Безветренных дней вблизи Байкала всего лишь 19% в году, однако среднегодовая скорость ветра не более 2.5 м/сек. Особенно частые и сильные ветры дуют с октября по декабрь, именно в это время бывает до 57% штормов.

Эта климатическая характеристика относится к району пос. Давша, т. е. побережью Байкала. Климат глубинной части заповедника изучен слабо, но ясно, что в общем он более континентален.

Геоботаник Л. Н. Тюлина, посвятившая многие годы созданию геоботанической карты Баргузинского заповедника, отмечала, что «северо-восточное побережье Байкала служит ареной взаимного проникновения различных ботанико-географических комплексов, типичные местоположения которых находятся на северо-востоке и юго-западе от описываемого района»<sup>4</sup>. Среднесибирская тайга, восточно-сибирские леса из даурской лиственницы, монгольская степь и лесостепь нередко образуют вокруг Байкала пеструю мозаику ландшафтов. Сочетание широкой зональности и вертикальной поясности, характерное для более южных районов, отражается и на природе заповедника. Природный комплекс формируется также под сильным влиянием Байкала, особенно там, где Баргузинский хре-

бет вплотную подступает к берегам озера.

Список флоры Баргузинского заповедника в настоящее время включает около 860 видов сосудистых растений, 180 — лишайников, 147 — мхов и 1 тыс. видов и подвидов водорослей.

Северо-восточное Прибайкалье ботанически изучено еще недостаточно. Напомним, что первые десятилетия с момента основания заповедник был нацелен исключительно на сохранение и восстановление популяции баргузинского соболя, и лишь в конце 40 — начале 50-х годов — на охрану и изучение всего природного комплекса северо-восточного Прибайкалья.

Среди эндемичных растений заповедника — астрагал трехгранноплодный (*Astragalus trigonocarpus*), луговик Турчанинова (*Deschampsia turczaninowii*), мятлик Смирнова (*Poa smirnovii*), череполодник щетинистоватый (*Craniospermum subvillosum*). Из реликтовых видов времен древнего оледенения встречаются гроздовник ланцетный (*Botrychium lanceolatum*), подмаренник трехцветковый (*Galium triflorum*), телиптерис болотный (*Thelypteris palustris*), ужовник обыкновенный (*OphioGLOSSUM vulgatum*).

В заповеднике немало редких видов, нуждающихся в специальной охране. Среди них орхидеи: калипсо луковичная (*Calipso bulbosa*), желтый, пятнистый и крупноцветковый башмачки (*Cypripedium calceolus*, *C. guttatum*, *C. macranthum*), любка двулистная (*Platanthera bifolia*), дремлик (*Epipactis helleborine*), надбородник безлистный (*Epipogium arhyllum*); а также низкий и гладкий касатик (*Iris humilis*, *I. laevigata*), розовая родиола (*Rhodiola*

<sup>4</sup> Тюлина Л. Н. Лиственничные леса северо-восточного побережья Байкала и западного склона Баргузинского хребта // Тр. Бот. ин-та АН СССР. 1954. Сер. III, геоботаника. Вып. 9. С. 202.

rosea), рододендрон Редовского (*Rhododendron redowskianum*). Эти растения занесены в «Красную книгу СССР», а еще 33 — в список редких и охраняемых растений Сибири.

В местах выхода термальных вод, по наблюдениям геоботаника Н. И. Троицкой, из 214 встречающихся видов растений 55 — редки для заповедника, а 30 — обитают только на термальных площадях.

Своеобразие вертикального распределения растительности на западных склонах Баргузинского хребта позволило Тюлиной выделить влажный прибайкальский тип пояности<sup>5</sup>. Одна из его отличительных черт — инверсия поясов: наличие на берегу Байкала ложноподгольцового пояса, представленного зарослями кедрового стланика и довольно угнетенными лиственничниками с багульником, брусникой и другими кустарничками в наземном покрове.

На северо-восточном побережье существуют три основных растительных пояса: лесной, субальпийский и альпийский. В лесном, в свою очередь, различаются подпояса. Самый нижний образован лиственничными лесами и редколесьями «багульникового ряда» с ярусом и ассоциациями кедрового стланика (460—600 м над ур. м.); эта зона наиболее подвержена охлаждающему влиянию Байкала, в нее входит и ложноподгольцовый пояс. Средний подпояс — это смешанные темно- и светлохвойные леса с преобладанием сосновых; здесь оптимальная зона лесного пояса. Верхний подпояс по-

крыт темнохвойными лесами, в нижней части которых преобладают кедровники, а в верхней — пихтарники. К нижней части субальпийского пояса (1200—1400 м над ур. м.) подходит граница лесной растительности: субальпийские пихтово-березовые «парки», пихтарники и редколесья пихты и березы, перемежающиеся зарослями кедрового стланика, ерниками (зарослями кустарниковых берез и ив) среди каменных россыпей. В верхней части этого же пояса (1400—1600 м над ур. м.) каменные россыпи и скалы чередуются с кедровым стлаником, золотистым рододендром, альпийско-субальпийскими и альпийскими мезофитными лугами и пустошами. До верхнего предела древесной растительности доходят пихта, кое-где ель и береза. Альпийский пояс — это сочетание скал, каменных россыпей и пустошей с нивальными луговинами и разреженными зарослями кедрового стланика и золотистого рододендрона.

В лесном поясе, на древних аллювиальных байкальских террасах, широко распространены лиственничники. В северо-восточном Прибайкалье соприкасаются ареалы сибирской и даурской лиственниц, которые дают помесную форму — лиственницу Чекановского. В лиственничниках заповедника много деревьев, приближающихся к той или другой родительской форме: в северной части, особенно вдали от побережья, больше гибридов, близких к даурской лиственнице, а в южной — к сибирской. Наиболее широко распространены лиственничники с преобладанием в покрове багульника, брусники, голубики и других кустарничков.

Низкие заболоченные

места часто занимают сфагновые, а высокие сухие террасы — боровые и мохово-лишайниковые лиственничники.

Кедровые и кедрово-пихтовые леса в Баргузинском заповеднике приурочены к моренным и древнеаллювиальным отложениям в долинах рек и растут на коренных склонах в верхней части горно-лесного пояса.

На формировании лесной растительности Прибайкалья сказались частые пожары, но горевшей тайги очень мало, обширные пространства заняты вторичными, выросшими на местах пожарниц, лесами. Естественную динамику развития лесных сообществ проследить довольно трудно, потому что огонь всегда вносил свои коррективы. На сильно выгоревших участках появляются березняки, осинники или лиственничники. На месте смешанных темно- и светлохвойных лесов после низовых пожаров живыми остаются только лиственницы и сосны. Толстая кора спасает некоторые деревья от смертельных ожогов, а породы с тонкой корой погибают.

И все же пожары, зажженные грозами, так же как ветровалы от штормов, представляют собой естественные процессы, смена лесов, вызванная ими, вполне закономерна. Интересно, что во вторичных лесах заповедника, как правило, идет энергичное возобновление коренных темнохвойных пород. На это указывают и палеоботанические исследования<sup>6</sup> со-

<sup>5</sup> Тюлина Л. Н. Влажный прибайкальский тип пояности растительности. Новосибирск, 1976.

<sup>6</sup> Кольцова В. Г., Стариков Э. В., Жидовленко В. А. Развитие растительности и возраст торфяника в долине р. Давше (Баргузинский заповедник) // Бюл. комиссии по изучению четвертичного периода. М., 1979. С. 121—124.



*Глухая кукушка — обычный гнездящийся вид.*

*Фото К. Ф. Михалкина*



*Полевой дунь — обычный пролетный вид.*

*Фото К. Ф. Михалкина*



*Удод.*

*Фото В. Ф. Семенова*

хранящейся в торфяных отложениях пыльцы деревьев.

Своеобразны леса речных долин. Пойма обычно занята рощами душистого тополя и чозении. В горных долинах она тянется лишь узкой полосой у подножья коренных берегов. Тайга наступает на прерывистую ленту лиственных лесов, кое-где образуя смешанные участки из темнохвойных пород, тополя и чозении, а в прибрежной полосе Байкала — и лиственницы.

Фауна Баргузинского заповедника типично таежная, но с некоторыми особенностями, связанными с близостью огромного водоема. Все виды млекопитающих заповедника, а их 41, встречаются и на территории Прибайкалья. Несмотря на заповедный режим, численность большинства видов животных невысока: слишком жестки природно-климатические условия, а корм далеко не всегда в достатке. Из семи видов кунных, встречающихся в заповеднике, относительно многочислен только соболь. Сейчас он заселил всю пригодную для него территорию, и численность его колеблется только по естественным причинам, в частности, из-за миграций. Как показали многолетние наблюдения за мечеными зверьками, и вся соболиная популяция, и отдельные особи в поисках пищи способны совершать дальние переходы, особенно в малокормные годы.

Ближайшие родичи соболя — колонки и солонгой — в заповеднике очень малочисленны. В первые годы его существования, когда соболь был близок к исчезновению, колонка было значительно больше. Размножившись, соболь, будучи более сильным, вытеснил своего сородича.

Немного в заповеднике и горностая, он заселяет, как правило, места, не занятые соболем. Малочисленны выдра, россомаха и ласка. Для выдры наиболее трудна зима, когда реки пустеют (так как рыба скатывается в Байкал), все озера покрываются толстым льдом, ей нужно искать другие пригодные для жизни места.

Из крупных хищников типичен для заповедника бурый медведь. Следы его пребывания хорошо заметны, долго сохраняются и встречаются довольно часто, что создает впечатление высокой численности. В действительности же его плотность в Прибайкалье ниже, чем, например, в Дарвинском заповеднике в Европейской части России<sup>7</sup>.

На байкальском побережье довольно обычна лисица, которая в глубь заповедника зимой практически не заходит из-за глубокого снега. Долгая многоснежная зима затрудняет существование и многим другим животным. Так, в заповеднике почти не было постоянно живущих волков, изредка они заходили зимой. Однако последние десятилетия зимы выдались относительно малоснежные, и сейчас поселилось несколько волчьих семей. Очень редко встречается рысь.

Из копытных в поясе низменностей обычен лось. Небольшие группы северного оленя зимой обитают вблизи Байкала, где не столь глубок снежный покров, но в мае они постепенно откочевывают в альпийский пояс. Благородного оленя и кабарги немного,



Белка-летяга.

Фото В. Ф. Семенова



Бурундук.

Фото В. Ф. Семенова



Жулан сибирский в заботах о потомстве.

Фото В. Ф. Семенова

<sup>7</sup> Калецкая М. Л., Филонов К. П. Сезонная жизнь бурого медведя в Дарвинском заповеднике // Экология. 1986. № 6. С. 58—64.

со стороны Баргузинской долины летом изредка заходит косуля, зимой в заповеднике ее не встречали. Большинство копытных, обитающих летом в горах, совершает сезонные вертикальные кочевки.

Мало в заповеднике зайца-беляка, и распространён он крайне неравномерно, а альпийская пищуха, или сеноставка, в высокогорье местами довольно многочисленна. В альпийском поясе встречаются поселения черношапочного сурка; в таежных лесах — белка, многочислен и широко распространён бурундук. В перестойных темнохвойных лесах, особенно по долинам рек, судя по следам обитания, довольно обычна летяга. Среди мышевидных грызунов преобладают красная и красносерая полевки. Значительно меньше полевки-экономки, а такие виды, как азиатская лесная мышь, лесной лемминг и большеухая полевка, как правило, редки и лишь в отдельных, наиболее благоприятные годы их численность сильно увеличивается.

Ондатра появилась в заповеднике в 1954 г., после выпуска ее на прилегающих территориях северо-восточного Прибайкалья, но заметной численности не достигла, так как не нашла пригодных для обитания угодий. В прибрежных водах или на мелких островках летом можно увидеть байкальскую нерпу — эндемик Байкала.

В заповеднике обитает семь видов землероек, из которых наиболее многочисленны средняя и равнозубая бурозубки.

Летучих мышей мало, среди них — ночница Иконникова, водяная ночница, бурый ушан и северный кожанок. Все они мало изучены. Известно лишь,

что некоторые зимуют в дуплах деревьев.

В списке птиц Баргузинского заповедника 261 вид, в основном — сибирские формы. Из оседлых это каменный глухарь, но его здесь очень немного. Зато обычен рябчик, однако и его численность существенно колеблется. Белой и тундряной куропаток тоже мало. Из фазановых на пролете встречается немой перепел (иногда он даже гнездится). Многочисленны утки, которые сосредотачиваются у берегов Байкала весной и осенью. Гнездятся немногие, обычно — гоголь, средний крохаль, чирок-свистунок; значительно реже — кряква, касатка, большой крохаль, каменушка и очень редко — лебедь-кликун. На горных озерах гнездится горбоносый турпан, на болотах, в нижней части лесного пояса, — серый журавль. Весной и осенью вблизи побережья Байкала бывает довольно много пролетных пернатых хищников, значительно меньше — в гнездовый период. Чаще других можно видеть обыкновенного канюка, ястребов (тетеревиатника и перепелятника) и небольшого сокола — чеглока. Вблизи Байкала и в долинах крупных рек нередки занесенные в «Красную книгу СССР» орлан-белохвост и скопа. Из крупных сов гнездятся длиннохвостая и бородатая неясыти, филин, а в годы с высокой численностью мышевидных грызунов — ушастая сова. Обычны, хотя и немногочисленны, мохноногий и воробьиный сычи и ястребиная сова.

Из лесных птиц многие освоили территорию от побережья Байкала до верхней границы леса. Таковы кедровка, кукушка, поползень, пухляк, московка,

длиннохвостая синица, желна, большой пестрый и трехпалый дятлы. Летом их особенно много. В годы урожая семян кедровки заметно увеличивается, повсюду слышатся ее характерные крики. Эта пестрая шумная птица играет очень важную роль в лесных сообществах. Растаскивая до 70% семян кедрового стланика, она обеспечивает их возобновление и расселение по всей территории, включая гари и крутые горные склоны. Сама кедровка использует небольшую часть семян, запасы ее кладовых чаще съедают другие обитатели тайги — соболь, белка, мышевидные грызуны и даже медведь. Во время неурожая семян кедровки на обширных территориях кедровка мигрирует.

К жизни в суровых условиях сибирской зимы приспособлены сравнительно немногие виды, поэтому в списке орнитофауны преобладают перелетные птицы. Весной и в начале лета птичьи голоса слышны почти круглые сутки от берега Байкала до альпийской зоны. С криками ренют речные крачки, гнездящиеся на мелких островках, заунывно кричат пролетные серебристые и сизые чайки. На болотах и лесных полянах токует азиатский и обыкновенный бекасы, а вечерами вдоль опушек тянут вальдшнепы. В песу воркует большая горлица, от зари до зари барабаният дятлы. Интенсивная птичья жизнь видна и слышна повсюду, но особенно — на стыках различных местообитаний. На берегах водоемов, опушках леса, кромках болот и в зарослях кустарников и мелколесья, в полосе равнин и предгорий журчат юрки, выводят рулады певчий и краснозо-

бый дрозды, кукуют обыкновенная и глухая кукушки. Здесь же в сумерках поет соловей-красношейка.

В списке птиц Баргузинского заповедника есть 14 редких, включенных в «Красную книгу Российской Федерации», видов. Два из них — орлан-белохвост и скопа — гнездятся регулярно, а черный аист и сапсан — не каждый год. Кречет и кроншнеп-малютка периодически останавливаются здесь на пролете, остальные виды можно считать случайными гостями.

Пресмыкающихся и земноводных в заповеднике мало. На сухих открытых местах можно увидеть живородящую ящерицу, есть и прытка, но крайне редка. Из змей чаще других встречается палласов щитомордник, но и его численность очень низка. Узорчатый полоз обитает в местах выхода термальных вод, где чаще, чем на других участках, можно встретить и обыкновенных ужа и гадюку. Среди амфибий нередко попадает на глаза остромордая лягушка, реже — сибирский углозуб, и уж совсем редка сибирская лягушка.

В заповедной акватории Байкала около 50 видов рыб, из них примерно половину составляет бычок-подкаменщик. Среди промысловых наиболее многочисленны омуль, хариус, сиг. Байкальский осетр и таймень занесены в «Красную книгу Бурятии».

В реки заповедника на нерест заходят черный хариус, ленок и таймень, но к осени почти вся рыба скатывается в Байкал. В некоторых озерах встречаются щука, окунь, карась, в отдельные речки зимой заходит налим.

Специфические условия северо-восточного Прибайкалья (сочетание сложного рельефа, высотной поясно-

сти, близость огромного водоема и географическое расположение в центре Евразии) способствовали формированию богатого и очень своеобразного природного комплекса. В местах выхода термальных вод (в долинах рек Большой, Езовки, Таламуша и Давше) особый интерес представляют сохранившиеся с доледникового периода реликты (ужовник, европейская фиалка, узорчатый полоз, особый вид стрекозы и др.). Все это относительно теплолюбивые организмы, их нет на остальной территории заповедника.

Баргузинский соболь, которого во времена экспедиции Доппельмайра насчитывалось около 40 особей на 200 тыс. га, и то в самых труднодоступных местах горно-таежного и подгольцового поясов, через 10 лет после учреждения заповедника уже занял всю таежную зону и появился на восточных склонах Баргузинского хребта. В 1958 г., по данным О. К. Гусева<sup>8</sup>, зверьков было 500, а еще через пять лет — уже около 800. Сейчас численность соболя в зависимости от условий составляет от 1000 до 1200. Заповедник не только успешно сохранил ценного зверька, но и стал резерватом племенного материала для звероферм и расселения соболя в другие регионы Сибири. В частности, с 1930 по 1936 г. 115 соболей отправлено в Пушкинский зверосовхоз и 105 — в другие районы России.

Когда еще организовы-

вался заповедник, антропогенное влияние на природный комплекс этих мест выражалось в нерегулируемом промысле животных: добывали не только соболя, но и байкальскую нерпу, черношапочного сурка (их популяция пострадала больше всего), а также благородного оленя, медведя и кабаргу, на другие виды охотились попутно. Рубки леса были относительно невелики, в основном в прибрежной полосе. Но здесь свирепствовали лесные пожары, нередко обширнейшие, за короткое время до неузнаваемости изменявшие облик тайги.

Из-за малочисленности лесной охраны и несовершенства противопожарной техники горела и заповедная тайга. Самые большие лесные пожары полыхали в 1943—1944 гг., когда площадь заповедника составила 570 тыс. га. Позднее, при урезании территории, выгоревшие участки остались в основном за пределами заповедника.

С введением заповедного режима естественные процессы начали восстанавливаться. Резче обозначились конкурентные взаимоотношения между экологически близкими видами, в частности, сободем и другими кунными, лосем и благородным оленем. В последнее десятилетие усилилась роль волка в биоценозах заповедника, однако численность его не растет, и это вселяет надежду, что равновесие в природе нормализуется без вмешательства человека.

С 70-х годов увеличивается число гнездящихся видов птиц. Правда, некоторые из них, видимо, ранее просто не регистрировались из-за их малочисленности и малой изученности территории. Такие виды, как удод,

<sup>8</sup> Гусев О. К. Распространение и численность соболя в Баргузинском хребте в прошлом и настоящем // Биол. сборник. Иркутск, 1960.

серый и обыкновенный скворцы, тяготеют к населенным пунктам, и потому их ареал продвигается на север вслед за человеком, заселяющим высокоширотные районы Сибири. Увеличение числа синантропных птиц, видимо, происходит за счет оседания части мигрантов, «осваивающих» зону БАМа, Иркутской области и Якутии. В последние годы такие же изменения происходят и в ареале чибиса. В целом же коренных перемен в экосистемах не ожидается.

До конца 70-х годов в Баргузинском заповеднике, как, впрочем, и в других, поощрялся туризм, и туристические маршруты пересекали всю территорию. Неорганизованные туристы занимались рыбной ловлей, разводили в лесу костры. После очень сильных лесных пожаров в начале 60-х и 70-х годов, когда по вине туристов выгорели огромные массивы кедровников, пребывание любителей заповедных мест было строго ограничено посещением Музея природы в пос. Давше. С тех пор больших пожаров по вине человека не отмечалось. Однако если учесть, что для северо-восточного Прибайкалья летом бывают характерны сухие грозы (без дождя), то в этот период опасность возгораний всегда реальна. И хотя локальные лесные пожары можно рассматривать как естественный процесс, вызывающий сукцессии (смены) растительных сообществ, в горной тайге при полном бездорожье почти любой пожар быстро перерастает в стихийное бедствие, уничтожающее все живое, поэтому противопожарные мероприятия необходимы.

Баргузинский заповедник, задуманный как собо-

линый, спустя несколько десятилетий естественным образом стал комплексным. В связи с пополнением научного отдела специалистами различного профиля круг научных тем расширился. Стали изучать и других млекопитающих, начались ботанические, геоботанические, орнитологические и геоморфологические работы. Изучение экологии соболя было существенно дополнено фундаментальными исследованиями эмбриологии этого зверька. Отдаленность от научных центров, суровость природных условий, бытовая неустроенность, низкая заработная плата и ряд других причин вызвали текучесть кадров и снижали эффективность исследований. Работа шла за счет энтузиазма и увлеченности. На собранных материалах защищено 11 кандидатских и четыре докторских диссертации, издано семь выпусков «Трудов заповедника», опубликованы статьи и монографии.

Сейчас продолжают исследования экологии соболя. Массовое мечение, широко практикуемое с 1966 г., позволило решить ряд спорных вопросов, касающихся перемещений этого зверька, его поведения, особенностей размножения, развития молодняка, сроков линьки и других конкретных деталей, которые можно получить только при непосредственной работе с животными в природе. Изучение экологии соболя потребовало особо внимательно исследовать и экологию мышевидных грызунов, которыми он в основном питается. Попутно накапливаются сведения по экологии и других млекопитающих. Расширены орнитологические исследования, в частности, детально изучается экология птиц высокогорья

и их адаптация к условиям среды. Ведутся наблюдения за фенологией птиц и их миграциями на прибрежной территории, проводятся регулярные учеты на маршрутах, дающие представление о динамике численности и размещения. Собираются сведения по экологии разных видов птиц. На серии постоянных маршрутов ведутся наблюдения за сезонным развитием растений и микроклиматом различных биотопов. В местах выхода термальных вод растительность изучается геоботаническим картированием.

В начале 90-х годов в списке научных проблем заповедника появилась тема «Комплексная оценка природных ресурсов северо-восточного Прибайкалья и разработка рекомендаций по их рациональному использованию».

Присвоение заповеднику статуса биосферного потребовало корректировки стратегии научных исследований. Особое значение приобрела инвентаризация. Еще остаются «белые пятна» в списке высших растений. Фауна позвоночных изучена гораздо полнее, но и здесь есть проблемы, касающиеся некоторых скрытных и малочисленных видов. Крайне слабо изучена фауна беспозвоночных, флора низших растений и гидрология региона, особенно внутренние водоемы.

Исключительная сложность рельефа, резкие контрасты условий среды, мозаика ландшафтов затрудняют проведение типологических описаний территории. Пока еще нет детальных почвенных и ландшафтных карт и описаний. Фоновый и экологический мониторинг не возможен без выделения наиболее типичных экосистем и получения их количе-

ственных характеристик. Нынешние методики слежения, контроля и прогноза состояния окружающей среды нуждаются в совершенствовании. Материалы, полученные на станции фонового мониторинга в пос. Давше, свидетельствуют о том, что Баргузинский заповедник — одно из наиболее чистых мест в России. Тем не менее отголоски экологических катаклизмов, происходящих на планете, долетают и до Байкала.

Среди наших важнейших задач — исследования по теме «Разработка научных основ сохранения и восстановления численности редких и хозяйственно ценных видов и рационального использования популяций». Предполагается определить распространение и запасы лекарственных растений, охотничье-промысловых видов животных, классифицировать и инвентаризовать природные комплексы на территории биосферного полигона, примыкающего к заповеднику с севера. Этот выбор сделан не случайно — биосферный полигон, бывший в прошлом частью территории заповедника, по своей природе не отличается от ядра Баргузинского заповедника, но его режим позволяет проводить эксперименты, результаты которых пригодились бы, например, для оценки устойчивости природных компонентов к рекреационным нагрузкам.

Материально-техническое обеспечение научных исследований весьма далеко от современного уровня. Необходимы приборы для автоматического контроля за условиями среды, радиопередатчики для индивидуального мечения животных и многое другое. О компьютерной технике научные сотрудники могут только меч-

тать. Между тем за рубежом она уже давно используется не только при стационарной обработке материала, но и в полевых исследованиях. Затруднено обеспечение картографическим материалом и аэрофотоснимками. Формализм и жесткий режим секретности вынуждает сотрудников обходиться без точных топографических карт даже там, где они совершенно необходимы.

Лесная охрана заповедника находится на двух кордонах, расположенных на берегу Байкала близ северной и южной границ и на центральной усадьбе в пос. Давше. У работников охраны есть катер, моторные лодки, снегоходы, судно на воздушной подушке и несколько лошадей. Самолеты и вертолеты — для переброски сотрудников в трудно доступные места и охраны лесов от пожаров — заповедник арендует, но в последнее время на эти нужды катастрофически не хватает средств.

Заповедник пересечен сетью таежных троп, на которых через 8—12 км построены избушки или зимовья для ночлега и хранения противопожарного инвентаря. Однако еще много труднодоступных мест, контроль за которыми возможен только с помощью авиации.

Биосферный полигон одновременно служит и буферной зоной. Здесь запрещены те формы деятельности человека, в результате которых разрушаются природные комплексы, в том числе сплошные рубки, строительство гидротехнических сооружений, промысловая охота.

Коллектив заповедника живет и работает в условиях местности, приравненной к районам Крайнего Се-

вера, в значительной удаленности от населенных пунктов и транспортных магистралей. Стремясь улучшить социально-экономические условия на специально выделенных участках так называемой «хозяйственной зоны» (ее площадь 2230 га, 0,8 % от всего заповедника), жителям пос. Давша и работникам заповедника разрешается сенокосение, выпас скота, сбор опавших кедровых шишек и других дикорастущих плодов и ягод, любительский лов рыбы.

Байкал пользуется неизменной популярностью у российских и зарубежных туристов, многие стремятся попасть в Баргузинский заповедник. Однако теперь экскурсантов принимает лишь Музей природы. О Баргузинском заповеднике снято немало фильмов, в том числе телекомпаниями Японии, Англии, Венгрии, Германии и других стран.

Мы поддерживаем деловую связь с различными научными учреждениями и высшими учебными заведениями России и других стран, специалисты которых выполняют исследования на северо-восточном побережье Байкала.

В 1996 г. Баргузинскому заповеднику исполнится 80 лет. Пережив вместе с Россией целую эпоху социальных потрясений, непредсказуемых зигзагов в экономической и экологической политике, заповедник тем не менее справляется со своими основными задачами: успешно размножается баргузинский соболь, сохраняется для потомков легендарное Подлеморье с его таежными дубрами, чистыми водами и снежными хребтами, а также ведутся научные исследования по изучению природы Прибайкалья и его обитателей.

## Хищники на заре жизни

К. Н. Несис,

доктор биологических наук

Москва

**П**РИБЛИЗИТЕЛЬНО 530 млн. лет назад, в нижнем кембрии, почти внезапно (за 5—10 млн. лет) возникли почти все типы животных, ныне существующие на нашей планете, и еще немало других, непонятных существ, которые не пришлось ко двору и вскоре вымерли<sup>1</sup>. Великим разнообразием этих загадочных животных отличаются среднекембрийские (около 520 млн. лет) сланцы Берджесс в Британской Колумбии (Канада); они интенсивно изучаются уже почти 100 лет.

Описано на сегодня около сотни видов «берджесских» животных; одно из них — *Anomalocaris canadensis*, что в переводе означает «канадская аномальная креветка». Первоначально, судя по остаткам, ее действительно считали креветкой, т.е. древнейшим ракообразным, но в 1982 г. было найдено целое животное и оказалось, что его головные выросты, челюсти и части тела прежде считали остатками трех разных организмов. На самом деле аномалокарис вовсе не кре-

ветка и даже не ракообразное.

Китайские ученые из Нанкинского института геологии и палеонтологии АН КНР и их шведский коллега из Палеонтологического музея Уппсальского университета обнаружили в 1990—1992 гг. в Чэнцзяне (провинция Юньнань, южный Китай) целую серию отпечатков очень крупных животных — нового, еще не описанного вида *Anomalocaris* и двух новых, близких к нему родов<sup>2</sup>. Слои, в которых найдены эти отпечатки, отложились в нижнем кембрии и имеют возраст около 530—525 млн. лет. Они на 10 млн. лет моложе берджесских сланцев. Отложения приблизительно того же возраста известны в разных местах — от Гренландии и Якутии до Австралии.

Аномалокарисы и их новооткрытые родственники имеют крупную голову с парой мощных, гибких, многочленистых головных выростов, вооруженных двойным рядом острых, как ножи, шипов и способных

мертвой хваткой вцепиться в добычу и прочно удерживать ее. На нижней стороне головы — большой, до 25 см в диаметре, челюстной аппарат, который состоит из нескольких пластинок разных размеров, расположенных по кругу (как цапга цапгового карандаша), с направленными к его центру зубцами или шипами (этот аппарат был исходно описан как особый вид медузы!). Пара крупных шаровидных стбельчатых глаз сидит на верхней стороне головы ближе к бокам. С обеих сторон тела находится по 11 широких пластин с параллельными жилками, как на крыльях насекомых; эти пластины, несущие снизу по одной жабре, прикреплены ближе к брюшной стороне и расположены так, что каждая последующая налегает сверху на предыдущую. Членистых ножек нет. Сложный хвостовой веер из трех пар пластинок слегка напоминает хвост речных раков. Тело заканчивается, тоже как у некоторых раков, парой длинных тонких и прямых палочковидных придатков (своеобразной вилочкой, или фуркой).

Новый вид аномалокариса представлен молодым экземпляром. Его длина с хвостовой вилочкой около 15 см, но, судя по частям

© Несис К. Н. Хищники на заре жизни.

<sup>1</sup> Несис К. Н. Кембрийская революция шла быстрее, чем думали // Природа. 1994. № 12. С. 94—95.

<sup>2</sup> Chen Jun-yuan, Ramsköld L., Zhou Gui-qing. Evidence for Monophyly and Arthropod Affinity of Cambrian Giant Predators // Science. 1994. V. 264. № 5163. P. 1304—1308.

ротового аппарата, взрослые особи этого вида, а также одного из двух новых родов достигали 1 м, а особи другого нового рода — даже 2 м в длину. Ничего не скажешь, солидные звери: ведь большинство животных того времени измерялись максимум дециметрами.

В кишечнокариях аномалокарисов ничего не было найдено, но, видимо, им принадлежали многочисленные в районе Чэнцзяня отложения копролитов (окаменевших экскрементов), имеющих толщину 4.5—6.5 см. Они содержали остатки трилобитов, хиолитов и других животных с прочным панцирем. А следы заживших ран на телах трилобитов — самых типичных и массовых ископаемых кембрия — по форме напоминают шипы на головных выростах аномалокарисов. Значит, эти животные действительно были хищниками, и притом самыми крупными в кембрийских морях, хотя их нападения не всегда оказывались смертоносными. Диаметр кишечнокария у самых больших особей достигал 8 см, так что их в пору назвать живоглотами.

У близких к аномалокарисам животных головные придатки имели иное вооружение: у одного на члениках сидели разной длины пластинки, чтобы ими можно было прочесывать грунт в поисках мягкотелых животных; у другого — еще не описанного вида из кембрия Австралии<sup>3</sup> — частокоп шпиков, чтобы процеживать воду и улавливать всякую мелочь.

Как аномалокарисы на-



Прорисовка *Anomalocaris* из южного Китая. отпечатка

стигали добычу? Чэн, Рамшэльд и Чжоу полагают, что они быстро плавали, попеременно поднимая и опуская боковые пластины так, что по ним пробегала волна, как по плавникам ската или каракатицы. Движению мог способствовать хвостовой веер, который обеспечивал стабилизацию тела и маневрирование, а хвостовая вилочка — жесткость всей структуры. Аномалокарисы, вероятно, могли лежать на дне и засыпать себя грунтом, так что над ним выступали одни

глаза. Закопавшись, они поджидали добычу, а затем бросались на нее.

По мнению названных ученых, три изученных ими новых животных близки к ранее описанному животному *Orania* — небольшим (20 см) организмам из нижнего кембрия Гренландии. Жесткий наружный скелет, сбрасываемый при линьке, сегментированное тело с выростами, шарнирный характер крепления придатков к телу и наличие гребневидных жабр позволяют предполагать, что эти животные — членистоногие. Но они отличаются от всех других членистоногих так сильно, что их необходимо считать особым подтипом (если членистоногие — тип) или даже самостоятельным типом надтипа членистоногих. Названия для нового таксона столь высокого ранга еще не придумано.

Японская широковегетельная корпорация Ниппон Хосо Кёкай подготовила телепередачу о «кембрийской революции» под названием «Великий эксперимент». Специально для нее была построена движущаяся модель аномалокариса длиной 70 см, шириной 40 см. Боковые пластины имели в разрезе форму крыла судна на подводных крыльях: жесткий утолщенный передний и тонкий (в модели — гибкий) задний край; верхняя сторона выпуклая, нижняя — вогнутая. По оси тела модели проходит жесткий стержень, вращаемый электромоторчиком на батарейках; он поворачивает 11 боковых пластин последовательно одну за другой. По ним пробегает волна немного короче серии пластин (по их длине волна укладывается приблизительно 1.3 раза). Если волна бежала по пластинам правой и левой половины тела син-

<sup>3</sup> Briggs D. E. G. Giant Predators from the Cambrian of China // Science. 1994. V. 264. № 5163. P. 1283—1284.

*Действующая модель анмалокариса, изготовленная для японского телевидения.*



хронно спереди назад, модель плавно, без качания плыла вперед, а если волну пускали в обратном направлении, — теряла скорость, клевала носом, а затем начинала медленно двигаться задним ходом. Гоня волну на правой и левой половине тела в противофазе, можно было управлять движением модели так, что она поворачивалась на месте.

Таким образом, древний хищник анмалокарис (и его родичи) с необычным способом движения, напоминающим скорее работу весел на галере, чем плава-

ние рыбы или кальмара, и с совершенно невероятной «цанговой» челюстью, мог вполне успешно ловить свою «бронированную» и не слишком быструю добычу.

## Новости науки

### Биология

#### Зачем паукам длинные хелицеры

Половой диморфизм проявляется у пауков не только в карликовости самцов. По каким-то параметрам самец может быть даже крупнее: так у пауков-скакунчиков рода *Murgantshne* хелицеры самца в пять раз длиннее, чем у самки!

По-видимому, такие хелицеры есть результат полового отбора и действуют подобно рогам гигантских тропических жуков (геркулес и др.) — помогают самцам выяснять отношения между собой. Во время конфликта самцы мирмарахн раздвигают основные членики хелицер, показывая «коготок» (точнее — длинный коготь), и сильно толкают друг друга<sup>1</sup>.

Однако, как показали недавние исследования С. Полларда<sup>2</sup> из Университета в Крайстчерче (Новая Зеландия), у самцов, обладающих такими хелицерами, возникают проблемы с питанием.

Типичная для пауков ситуация — введение яда в тело добычи. Желобок для яда проходит по всему коготку хелицер. Но у самцов мирмарахн яд не выделяется. По данным Полларда, самец охотится совсем не так, как самка, которая просто вонзает хелицеры-крючки в жертву и впрыскивает яд. Самец же

нанизывает добычу на коготь так, что она оказывается около его рта. Пищеварительные соки вводятся в жертву там, где коготь самца выходит из нее наружу.

В целом, самец при таком сложном способе охоты менее удачлив, чем самка: он неспособен обездвигнуть добычу ядом, и она убегает. Кроме того, нельзя нанизать добычу на длинный коготь так же быстро, как самка протыкает ее коротким крючком.

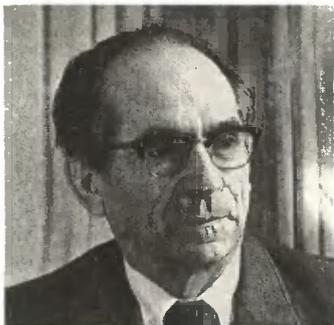
Однако самцы и менее жизнеспособны, чем самки: они недолго живут и хуже питаются. Значит, описанные выше хлопоты при добывании пищи для самцов мирмарахн не так уж и существенны — хелицеры нужнее для борьбы с соперником.

<sup>1</sup> Moffet M. All eyes on jumping spiders // *National Geographic Magazine*. 1991. V. 180. P. 43—63.

<sup>2</sup> Pollard S. D. Consequences of sexual selection on feeding in male jumping spiders (Araneae: Salticidae) // *J. of Zoology*. L., 1994. V. 234. № 2. P. 203—208.

# Глобальные изменения климата и ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВЫ

Г. В. Добровольский, Г. С. Куст



*Глеб Всеволодович Добровольский, академик, советник ректората Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Основные научные интересы сосредоточены в области генезиса, географии и охраны почв, истории почвоведения. Автор многих научных работ и учебников по этим разделам почвоведения. Член редколлегии журнала «Природа».*



*Герман Станиславович Куст, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник почвенного факультета МГУ. Область научных интересов — эволюция, генезис и классификация почв и ландшафтов.*

**В** СОВРЕМЕННЫХ условиях, когда в мире интенсивно развивается промышленность, сельское хозяйство и резко возрастает потребление природных энергетических ресурсов, человечество встало перед проблемой изменения климата планеты из-за так называемого «парникового эффекта». В истории Земли климат менялся неоднократно: это и хорошо известные похолодания в ледниковые периоды, сменявшиеся потеплением в межледниковое время, и менее известные колебания климата уже в исторический период (так называемые малые ледниковые периоды).

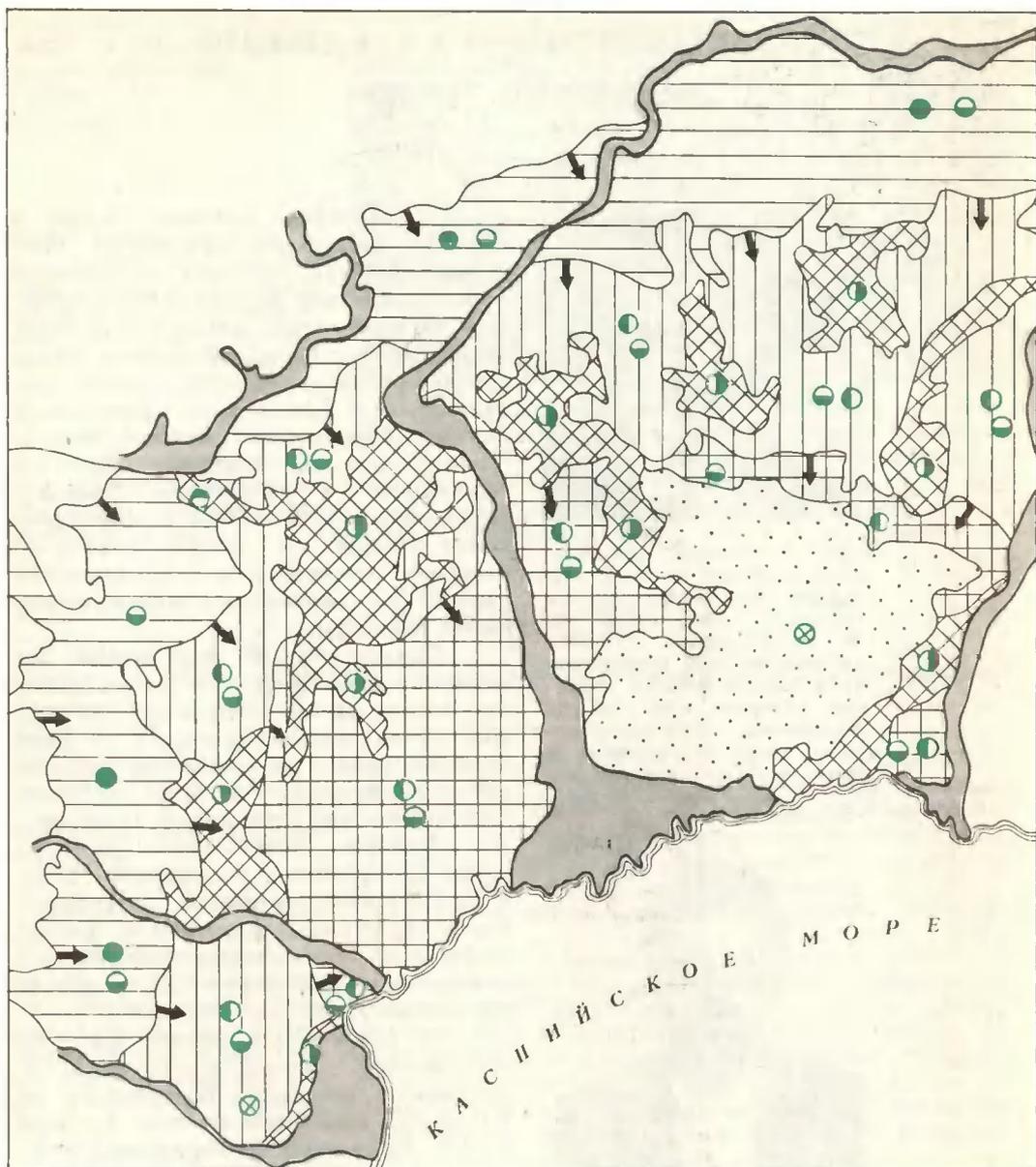
Однако никогда еще климат не менялся столь быстро — на протяжении жизни одного поколения. Никогда еще климатические изменения не были столь связаны с человеческой деятельностью, результаты которой начинают приобретать уже глобальный характер.

Прогнозы современных климатических изменений, к сожалению, общи и разноречивы, однако с наибольшей долей вероятности принимается прогноз глобального потепления, связанный с увеличением содержания  $\text{CO}_2$  и других парниковых газов в атмосфере.

По различным моделям, удвоение содержания углекислоты приведет к изменению глобальной температуры на  $1.7\text{--}3.5^\circ\text{C}$ , а наиболее реальные значения  $2\text{--}3^\circ\text{C}$ . Изменение температуры Северного полушария под влиянием роста концентрации углекислоты по сравнению с 1975 г. (с учетом возможных различий в атмосфере) составит<sup>1</sup>: в 2000 г. —  $0.2\text{--}0.9^\circ\text{C}$ ; 2025 г. —  $0.6\text{--}2.1^\circ\text{C}$ ; 2050 г. —  $1.2\text{--}3.9^\circ\text{C}$ .

© Добровольский Г. В., Куст Г. С. Глобальные изменения климата и эволюция почвы.

<sup>1</sup> Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В., Раевский А.Н., Смекалова Л.К., Школьный Е.П. Климатология. Л., 1989.



Для юга России ожидаемое потепление в основном соответствует среднему глобальному, а для более северных районов оно будет в 1.5—2 раза больше, чем среднеглобальное, причем среднегодовые температуры повысятся, вероятно, за счет увеличения зимних. Так, в январе потепление в высоких широтах ожидается в 2—4 раза больше, чем в июле<sup>2</sup>.

Помимо температуры, очевидно, будет меняться и влажность климата. Вместе с тем оценить глобальные колебания влажности весьма трудно. Судя по палеоклиматическим данным, как правило, более теплые эпохи были

<sup>2</sup> Национальный доклад СССР к конференции ООН 1992 г. по окружающей среде и развитию. М., 1991. С. 165—171.

*Карта-схема возможных изменений почвенного покрова Северного Прикаспия. Стрелки на границах почвенных зон и областей указывают на тенденции их смещения (по: Куст Г. С. и др., 1992).*

Почвы:	
	темно-каштановые и темно-каштановые солонцеватые
	светло-каштановые, каштановые и каштановые солонцеватые
	бурые полупустынные и бурые полупустынные солонцеватые
	солонцы в комплексе с сильнозасоленными почвами и солончками
	песчаные пустынные и массивы развеваемых песков
	аллювиальные

#### Преобладающие почвенные процессы:

	закрепление песков и формирование слабо-развитых каштановых почв
	рассолонцевание и рассоление солонцов и солончаков, формирование солонцеватых каштановых почв
	рассолонцевание и рассоление солонцов и солончаков, формирование солонцеватых южных черноземов
	рассолонцевание солонцеватых в разной степени почв, формирование обыкновенных родов каштановых и светлокаштановых почв
	рассолонцевание солонцеватых в разной степени почв, формирование обыкновенных родов южных черноземов
	опускание верхней границы карбонатного и гипсового горизонтов, увеличение мощности гумусового профиля

и более влажными. Однако на суше при существенном росте осадков в низких и высоких широтах в степных районах увлажнение могло даже уменьшаться.

На первый взгляд, ожидаемые изменения среднегодовых температур и осадков не столь значительны. Но это весьма опасный вывод. Так, современные природные зоны тайги и широколи-

ственных лесов или зоны степей и полупустынь отличаются среднегодовыми температурами «всего» на 2—3°C.

Так что же, всего за какие-то 50—70 лет изменятся природные зоны? Тундра сменится тайгой, а вместо степей будут пустыни? Подобные вопросы остро встают перед современной географией, биологией, почвоведением. Если это хотя бы в малой степени так, то уже сейчас необходимо срочно предпринимать общемировые усилия, чтобы приостановить процесс потепления климата, а если это невозможно — готовиться к пересмотру многих исторически сложившихся основ природопользования практически во всех климатических и географических зонах земного шара.

Почвы — один из важнейших природных ресурсов, который человечество активно использует с незапамятных времен. Почвы, почти сплошным ковром покрывающие поверхность земной суши, представляя собой как бы «кожу Земли», которая предохраняет горные породы от интенсивного разрушения. Почвы — это не просто субстрат, на котором растут растения, в них происходят активные биологические, химические и физические процессы, регулирующие обмен веществом и энергией между литосферой, гидросферой и атмосферой. Распространение почв, как и многих биологических систем, подчиняется закону природной зональности, во многом связанной с климатическими параметрами.

Как же поведут себя почвы в условиях парникового эффекта? Потеряют ли черноземы свое плодородие? Что будет с тундровыми почвами, формирующимися на вечной мерзлоте, если она оттает на большую глубину? Будет ли скорость изменений почв адекватна скорости изменения климата? Как в условиях нарастающего парникового эффекта проявятся изменения почв, связанные с другими антропогенными воздействиями на природу — ирригацией, сведением лесов, добычей полезных ископаемых, кислотными

осадками?.. На эти вопросы призвана ответить специальная область почвоведения, занимающаяся эволюцией почв, т.е. их изменением под влиянием природных и антропогенных факторов.

Изучение эволюции почв еще недавно было чисто теоретической проблемой и привлекало внимание сравнительно немногих исследователей. Сегодня необходимость прогноза изменений почвенного покрова в ближайшие 25—50 лет в результате парникового эффекта вывела эту проблему на передний край почвоведения. Подобных примеров смены приоритетов в истории науки известно множество. И все они свидетельствуют о важности фундаментальных научных исследований, которые неизменно в то или иное время приобретают исключительную значимость для дальнейшего развития не только научной, но и практической деятельности человека.

Не может быть сомнения в том, что эволюция почв относится именно к таким фундаментальным проблемам. Начало ее разработки связано с именами В. В. Докучаева, П. С. Косовича, С. И. Коржинского, В. Р. Вильямса, К. К. Гедройца, С. С. Неуструева, В. В. Геммерлинга, А. А. Роде, Н. Н. Розова и некоторых других. В последнее время при изучении эволюции почв основное внимание уделялось, как правило, исследованиям почвенных процессов, связанных с локальными, реже крупнорегиональными, антропогенными воздействиями, как, например, сельскохозяйственное использование, ирригация, вырубка лесов, техногенные выбросы и т. п. Однако все эти проблемы изучались при условии неизменности таких основных природных факторов, как климат, почвообразующие горные породы, рельеф, биота. Сегодня перед почвоведением стоит совершенно новая задача: дать прогноз эволюции почв в изменяющемся климате, притом для разных уровней возможных изменений почвенного покрова — глобального, регионального, а во многих случаях и локального.

Опыта в этом направлении еще очень мало. Недостаточно разработана

как общая методология прогноза эволюции почв, так и конкретные пути и методы предсказания почвенных изменений под воздействием природных и антропогенных факторов.

При разработке прогнозов эволюции почв, в том числе под влиянием глобальных изменений климата, принципиальное значение, на наш взгляд, имеют следующие положения.

Как неопровержимо доказал еще В. В. Докучаев, климат — безусловно важный, но не единственный фактор, определяющий разнообразие почв на Земле. Наиболее очевидно и непосредственно климат влияет на тепловой и водный режимы почв; не в меньшей мере и на почвообразование, а опосредованно, через воздействие на почву, — на растительность, обитающих в почве животных и микроорганизмы. По-разному сказывается это влияние на почвы, оно зависит от характера почвообразующих пород и рельефа местности. Поэтому нет и не может быть прямолинейной и повсеместно однотипной корреляции между изменением климата и эволюцией почв.

Тенденции глобальных климатических изменений существенно различаются не только по широтным поясам Земли, географическому расположению континентов и особенностям их орографии, но и по элементам мезорельефа. Закономерные различия мезо- и микроклимата — это один из самых важных факторов неоднородности почвенного покрова; именно они будут существенно влиять на эволюцию почв в условиях глобальных климатических изменений.

Вследствие своей биокосной природы почва менее чувствительна к колебаниям параметров внешней среды, нежели живые организмы. Поэтому она значительно устойчивее, консервативнее в своих временных изменениях, в том числе и под влиянием климата.

Очень важно в этом плане знать характерные времена почвенных процессов и, соответственно, скорости изменения разных свойств почв и в целом почв разных типов. Быстрее

всего (десятки и сотни лет) формируются компоненты органической части почвы, значительно медленнее (сотни и тысячи лет) — минеральная ее основа, а образование типичных, широко распространенных полно развитых почв, находящихся в квазиравновесном состоянии, требуют нескольких тысячелетий.

В отличие от водной и воздушной сред почва не способна относительно быстро рассеивать попадающие в нее вещества и сравнительно медленно трансформирует их. Это свойство почвы как природной среды имеет большое значение для оценки антропогенного влияния на эволюцию почвенного покрова.

Локальные изменения передаются на почвы смежных территорий через поверхностные и грунтовые воды, однако со значительно меньшей скоростью и на меньшие пространства, нежели это имеет место в других природных средах (в воздухе, воде).

Пространственное разнообразие — характерная черта почвенного покрова на всех уровнях его организации, от микрокомплексов до глобальных структур. В соответствии с этим и пути эволюции почв под воздействием изменяющихся факторов почвообразования (в том числе и климата) пространственно также существенно различны. Поэтому прогноз возможных трансформаций почв требует тщательного анализа конкретных географических и топографических особенностей формирования почвенного покрова.

Для прогноза эволюции почв в связи с глобальными изменениями климата могут быть использованы различные методы.

Одним из наиболее реальных и достоверных нам представляется метод почвенно-географических аналогий, в основе которого лежит принцип актуализма, предложенный в свое время Ч. Лайелем для восстановления картин геологического прошлого. Не менее успешно его можно применять и для прогноза эволюции почв.

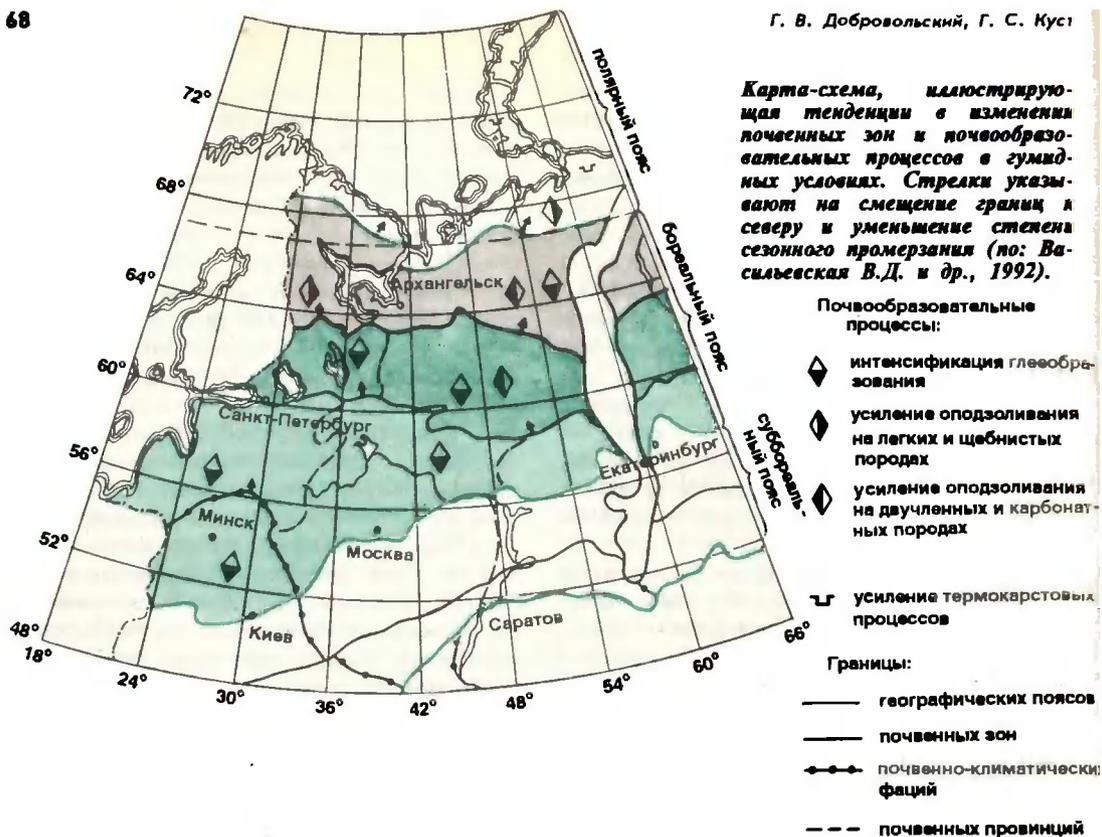
В самом деле, современный почвенный покров Земли представляет картину колоссального по своему

разнообразию «опыта природы» — формирование почв в самых разных природных условиях, в том числе и климатических. Использование этого многовариантного природного опыта в прогностических целях можно пояснить следующим примером.

Известно, что среднегодовые условия Среднерусской провинции серых лесных почв широколиственных лесов примерно на 1—2°C теплее, а количество осадков на 50—100 мм меньше, чем в Среднерусской провинции более северных дерново-подзолистых почв южной тайги<sup>3</sup>. Исходя из этого, можно ожидать, что потепление климата на 1—2°C и некоторое уменьшение осадков в зоне дерново-подзолистых почв Русской равнины приведет к сближению их с серыми лесными. Эти события в первую очередь могут способствовать постепенному проникновению в южно-таежные леса широколиственных пород деревьев, соответствующей им кустарничковой и травянистой растительности, а также изменению в составе почвенной биоты. Соответственно количество гумуса будет медленно увеличиваться, и состав его приблизится к гумусу серых лесных почв.

Конечно, эти процессы, а тем более трансформация всех признаков и свойств дерново-подзолистых почв в типичные для серых лесных будет происходить чрезвычайно медленно и постепенно. Напомним, что характерные скорости даже почвенных процессов измеряются сотнями лет, а формирование консервативных свойств требует уже тысяч лет. Значит, наиболее очевидные изменения в пределах 25—50 лет возможны лишь в тепловом, водном и отчасти окислительно-восстановительном и солевом режимах почв, а их общий химический состав за это время изменится незначительно. К тому же следует добавить, что все это возможно лишь под пологом природной растительности. Однако большая часть территории Северной лесостепи распахана и на ней

<sup>3</sup> Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М., 1984.



*Карта-схема, иллюстрирующая тенденции в изменении почвенных зон и почвообразовательных процессов в гумидных условиях. Стрелки указывают на смещение границ к северу и уменьшение степени сезонного промерзания (по: Васильевская В.Д. и др., 1992).*

господствует антропогенное почвообразование, т. е. регуляция большинства почвенных режимов и некоторых свойств почв осуществляется искусственно.

Заметные изменения почвенного покрова возможны в самых северных и самых южных районах России. Здесь смена климатических условий может быть существенной, поскольку равновесное состояние почв менее устойчиво, а почвенный покров более неоднороден. Особенно это реально для почвенного покрова полупустынных и пустынных ландшафтов, где изменение водного баланса сравнительно быстро скажется на геохимических процессах засоления и рассоления почв по элементам мезо- и микрорельефа.

Однако методом почвенно-географических аналогий следует пользоваться очень осмотрительно, так как эволюция почв и почвенного покрова в сходных климатических условиях, но разных по характеру рельефа и составу почвообразующих пород будет

отличаться. Так, мало вероятна трансформация дерново-подзолистых почв Среднерусской провинции, сформировавшихся на ледниковых отложениях, в подбие почв Заволжской лесостепной провинции, характеризующихся сравнительно близкими климатическими показателями, но образовавшихся на отложениях иного генезиса — элювио-делювии коренных пород — и в условиях эрозионного резко расчлененного рельефа.

Второй важный метод изучения эволюции почв и прогноза — палеопедологический, основанный на изучении погребенных и реликтовых почв. В результате палеопедологических и палеогеографических исследований в настоящее время накоплен большой фактический материал о почвах и их образовании в голоцене, межледниковьях, а также и в более древних эпохах.

Особенно интересны для нас реликтовые почвы и отдельные их фрагменты, формировавшиеся 5—7

тыс. лет назад, когда глобальный климат был теплее на 1—2°C современного, т.е. близок к ожидаемому антропогенному потеплению. Например, при раскопках курганов на территории современных степей с черноземами и каштановыми почвами обнаружили, что еще 4—5 тыс. лет назад здесь преобладали лугово-черноземные и лугово-каштановые почвы, а также солонцовые комплексы<sup>4</sup>. Не менее интересны погребенные почвы Микулинского межледниковья (возраст примерно 125 тыс. лет) — тогда глобальная температура была выше современной на 2—2.5°C, т.е. такой, которая ожидается к середине XXI в. По данным Е.М.Самойловой, доля почв с повышенным увлажнением тогда была выше<sup>5</sup>.

Несомненно, перспективны также методы математического моделирования изменений климата и соответствующей эволюции ландшафтов и почв с учетом скоростей почвенных процессов. Однако достоверность моделирования сложных природных процессов пока еще не очень высока.

Чтобы судить о скорости и направленности почвенных процессов, а значит, и эволюции почв, необходимы стационарные исследования почвенных режимов и комплексных биогеоэкологических процессов. К сожалению, подобные работы пока весьма ограничены даже в биосферных заповедниках. Хочется надеяться, что дело улучшится в связи с организацией мониторинга состояния почв и земельных ресурсов. Безусловно, перспективны в этом плане аэрокосмические методы, позволяющие быстро получать достоверную информацию о почвах и ландшафтах на больших территориях.

Говоря об эволюции почв в условиях глобального изменения климата, нельзя забывать и об антропогенном влиянии на состояние почв и

почвенного покрова. По своему значению оно и в настоящем, и в будущем — не менее мощный фактор, чем климатический, прежде всего в региональном аспекте.

Известно, что в результате стихийной распашки земель и низкой культуры землепользования человечество уже потеряло за свою историю около 2 млрд. га некогда плодородных почв, что превышает всю площадь современного земледелия — 1.5 млрд. га<sup>6</sup>. Этот процесс продолжается и в настоящее время, причем со все возрастающей скоростью: за год теряется около 7 млн. га пахотных земель. Соответственно возрастают площади непродуктивных территорий — затопленных, застроенных, а также пустынь, оврагов. Вполне вероятно, что за последнюю четверть XX в. в мире безвозвратно пропадет около 300 млн. га продуктивных сельскохозяйственных земель, при этом 200 млн. га перейдет в непродуктивные земли, 50 млн. га трансформируется в пустыню и 50 млн. га будет серьезно загрязнено.

В России за пять лет (1985—1990) выбыло из оборота около 7 млн. га сельскохозяйственных угодий, из них около 2 млн. га пашни. Площадь пашни, подверженной водной и ветровой эрозии, составляет 82 млн. га, или 64% от общего количества.

Все более значительные масштабы приобретают антропогенная деградация почв и опустынивание ландшафтов. Особенно интенсивны эти процессы на территории Черных земель и Кизлярских пастбищ. Только за последние пять лет в Калмыкии площадь, занятая песками, возросла на 47.7 тыс. га. В течение последних 20—25 лет быстро увеличились и площади почв, загрязненных пестицидами и токсикантами промышленного происхождения.

Таким образом, прогноз возмож-

<sup>4</sup> Иванов М.В. Эволюция почв степной зоны в голоцене. М., 1992.

<sup>5</sup> Розанов Б.Г., Самойлова Е.М. Возможное изменение почвенного покрова степей Евразии в связи с антропогенным изменением климата // Почвоведение. 1991. № 2. С. 3—11.

<sup>6</sup> Ковда В.А. Патология почв и охрана биосферы планеты. Пушино, 1989; Розанов А.Б., Розанов Б.Г. Экологические последствия антропогенных изменений почв // Итоги науки и техники. Сер. Почвоведение и агрохимия. Т. 7. ВИНТИ. М., 1990.

ных изменений почв и земельных ресурсов на ближайшие 25—30 лет не может быть достоверным без учета влияния на них человеческой деятельности.

Приемы и методы современного почвоведения, которые позволяют строить футурологические модели эволюции почв регионального и планетарного масштаба, не ограничиваются перечисленными здесь, они гораздо глубже и богаче по своим возможностям. Почвоведы обладают богатым арсеналом методов и достаточным объемом информации, чтобы разрабатывать прогнозы эволюции почв в условиях предполагаемых климатических изменений. Несмотря на это, предварительное обобщение имеющихся в настоящее время глобальных материалов по климату позволяет прогнозировать возможные изменения почв в зональном аспекте в пределах ближайших 25—50 лет лишь с большой осторожностью.

Мы полагаем, что все это время границы почвенных зон останутся почти прежними. Однако вполне реальны внутризональные изменения соотношений разных видов почв в структурах почвенного покрова, а также режимов почвообразования и свойств почв в пределах подтиповых и видовых различий. При этом скорость и направленность таких сдвигов будут существенно различаться не только в разных почвенно-географических зонах, но и в разных почвенно-геологических странах и регионах (Русский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский), в разных типах почвенно-географических округов (эрозийных, аккумулятивных и др.).

Наиболее существенные сдвиги будут наблюдаться, видимо, в почвах северных широт, где, по прогнозам, потепление климата и увеличение осадков значительно превысят соответствующие средние и глобальные.

В тундре и лесотундре (севернее 70° с.ш.), где ожидается, что среднегодовая температура поднимется на 4—5°C (главным образом за счет зимних температур) и возрастет количество осадков (на 50—100 мм), границы лесотундры и северной тайги

начнут медленно сдвигаться к северу, значит, на щебнистых и песчаных грунтах усилятся процессы подзолообразования, а на тяжелых глинистых породах, особенно в низинах, — глеевые процессы или заболачивание<sup>7</sup>.

В таежной зоне Восточной Сибири могут усилиться протаивание почв и грунтов, а также подзолистый процесс на равнинах в легких почвах, заболачивание падей, расширение термокарстовых и солифлюкционных явлений, приводящих к механическому перемещению почв, оползням и просадкам.

В южной тайге ожидается потепление зимой и летом на 2—3°C с одновременным уменьшением количества осадков (до 25 мм). Можно предположить, что в хвойных лесах с подзолистыми почвами соответственно появятся широколиственные породы и кустарники, усилится дерновый процесс в почвах, и они приблизятся к серым лесным. На дерново-подзолистых почвах сельскохозяйственных угодий количество влаги может заметно снизиться.

В лесостепной зоне серых лесных почв, оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов — главной сельскохозяйственной зоне — прогнозируют некоторое потепление (на 1—2°C) и уменьшение осадков на 15—20 мм. В связи с этим в почвенном покрове весьма вероятна тенденция эволюции лугово-черноземных и черноземовидных луговых почв в черноземы, а в плакорах — за счет непромывного водного режима в последних — повысится уровень карбонатов. Усиление сухости климата в лесостепной зоне потребует в сельскохозяйственном производстве активизации мероприятий по сохранению влаги в почвах, а вероятнее всего — расширения орошаемого земледелия.

<sup>7</sup> Васильевская В.Д., Богатырев Л.Г., Иванов М.В., Григорьев В.Я., Перлова Н.Е. Изменения почв гумидных и субгумидных территорий // Изменения почв как компонента ландшафта. Научный отчет по проекту Гос. науч.-техн. программы России «Глобальные изменения природной среды и климата», М., 1992. С. 31—53.

Конечно, этот прогноз основывается на ожидаемых климатических изменениях. Между тем в последние десятилетия наблюдается пока не нашедший объяснения медленный подъем уровня почвенно-грунтовых вод в Черноземной зоне Средней России и Украины, расширение площади так называемых «мочаристых» (переувлажненных) почв. Эти факты свидетельствуют о сложности динамики гидрологических режимов в почвах и ландшафтах, о многообразии причин их изменений, а значит, и о трудностях долговременных прогнозов.

В зонах степных черноземов и сухостепных каштановых почв с повышением среднегодовых температур на 1—2°C и с очень незначительным увеличением годовых осадков не следует ожидать изменения активности почвенной биоты и ухудшения водно-физических свойств почв; возможны локальные процессы осолонцевания почв и некоторой аридизации ландшафтов.

В полупустынной зоне светлокаштановых и бурых почв Прикаспийской низменности ожидается наряду с потеплением климата увеличение атмосфер-

ных осадков примерно на 100 мм, что существенно усилит увлажнение почв и растительности в этой зоне<sup>8</sup>. Скорее всего здесь, в типчаково-полынных и полынно-солянковых фитоценозах, постепенно возрастет количество злаков и в целом растительность пастбищных угодий улучшится, но только при разумном и бережном хозяйствовании.

В пустынях Казахстана и Средней Азии песчаные пустынные почвы, возможно, полнее покроются злаково-кустарниковой растительностью и продлится период ее вегетации. В почвах глинистых пустынь весьма вероятно увеличение пестроты почвенного покрова за счет перераспределения солей по элементам мезо- и микрорельефа.

Конечно, все эти прогнозы весьма общи и требуют дальнейших уточнений и географической привязки. Для этого необходимо знание не только общих тенденций изменения климата, но и ожидаемых климатических показателей на конкретных территориях.

---

<sup>8</sup> Куст Г.С., Аветян С.А., Стома Г.В., Евдокимова Т.И., Белозеров С.М. Изменения почв аридных территорий // Там же. С. 112—123.

## ПОПРАВКА

В апрельском номере 1995 г. в подписи под фотографией на с. 104 следует читать: *Во дворе ИФП. Слева направо: А. И. Шальников, П. Г. Стрелков, П. Л. Капица, Н. А. Бриллиантов, Н. Е. Алексеевский, М. А. Векслер. 1938 г.*

# Гигантское магнитосопротивление

А. В. Ведяев, А. Б. Грановский



*Анатолий Владимирович Ведяев, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой магнетизма физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Области научных интересов — электронная структура и свойства неупорядоченных магнитных сплавов и теория сильнокоррелированных систем. Автор монографии (совместно с А. Б. Грановским) «Кинетические явления в неупорядоченных ферромагнитных сплавах» (М., 1992).*



*Александр Борисович Грановский, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник той же кафедры. Специалист в области теории электронных явлений переноса в ферромагнитных кристаллических и аморфных сплавах.*

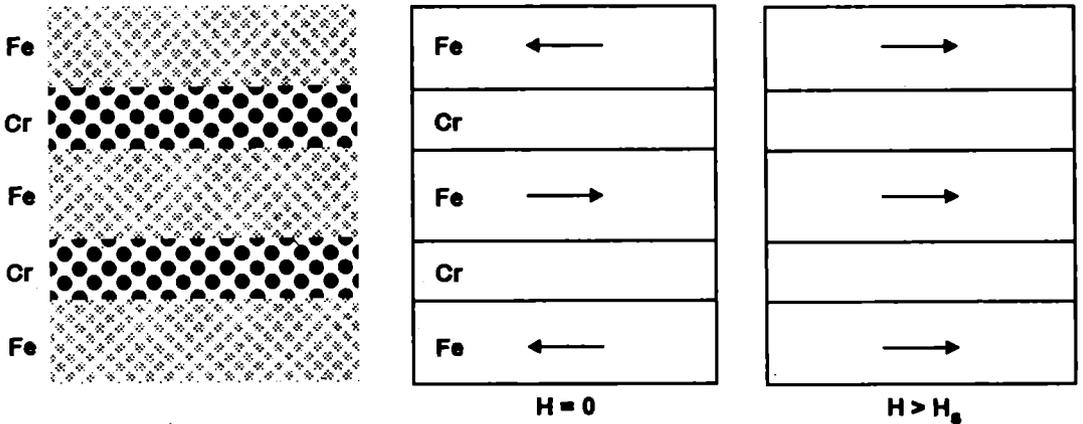
**В** ПОСЛЕДНИЕ годы стало привычным использовать приставку «сверх» для обозначения необычных свойств вещества — сверхтекучести, сверхпроводимости, сверхпрочности. Новое, недавно обнаруженное свойство, которым при определенных условиях могут обладать магнитные металлы, было названо «гигантским магнитосопротивлением», что несколько нарушает физико-лингвистическую традицию. В данной статье мы хотим рассказать, как был открыт, в чем заключается и как может быть использован этот эффект.

Зависимость сопротивления металла  $R$  от магнитного поля  $H$ , называемая магнитосопротивлением, или магниторезистивным эффектом, была обнаружена лордом У. Кельвином более 140 лет назад. В немагнитных металлах<sup>1</sup> магнитное поле оказывает слабое влияние на движение носителей тока, и потому в этих металлах при комнатной температуре изменение сопротивления даже в сильных полях не превышает 1%.

В ферромагнитных металлах этот эффект значительно сильнее, причем он сильно анизотропен, т. е. зависит от ориентации тока  $j$  относительно направления магнитного поля  $H$ . Как правило, при приложении поля в продольной геометрии ( $j \parallel H$ ) сопротивление  $R$  увеличивается, а в поперечной геометрии ( $j \perp H$ ) сопротивление  $R$  уменьшается. Это приводит к сравнительно большой величине анизотропии магнитосопротивления  $\Delta R/R = (R_{\parallel} -$

© Ведяев А. В., Грановский А. Б. Гигантское магнитосопротивление.

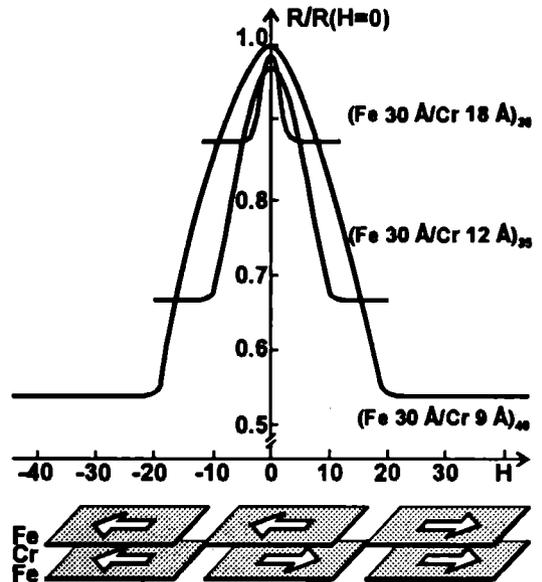
<sup>1</sup> В очень чистых немагнитных металлах при гелиевой температуре изменение сопротивления в сильном магнитном поле может быть порядка 100%, но нас не будут интересовать сверхчистые металлы и сверхнизкие температуры.



Схематическое изображение магнитной сверхрешетки Fe/Cr (слева). В отсутствие магнитного поля магнитные моменты соседних ферромагнитных слоев железа выстраиваются антипараллельно (в середине), во внешнем магнитном поле  $H$ , большем поля насыщения  $H_s$ , магнитные моменты всех слоев направлены вдоль поля.

$-R_1)/R$ , достигающей десятков процентов при гелиевых и нескольких процентов при комнатных температурах. Например, у пермаллоя  $Ni_{80}Fe_{20}$ , представляющего собой сплав никеля с железом в соответствующих весовых пропорциях, анизотропия сопротивления при комнатных температурах составляет 4—5% в достаточно слабых магнитных полях.

Если бы всего 7 лет назад было высказано предположение о том, что магнитосопротивление металла может достичь 50—100%, это вызвало бы только недоумение у научной общественности, поскольку ни один из известных механизмов не мог обеспечить столь большую величину эффекта. И вот известный французский физик А. Ферт с коллегами обнаружил в 1988 г. новый, очень сильный магниторезистивный эффект в неких искусственно полученных системах — сверхрешетках Fe/Cr<sup>2</sup>. Этот эффект впоследствии и был назван гигантским магнитосопротивлением (ГМС). Вскоре стало ясно, что он отличается от обычного



Зависимость сопротивления сверхрешеток Fe/Cr различной толщины от магнитного поля при температуре 4.2К в случае антиферромагнитного взаимодействия между ферромагнитными слоями. Сопротивление максимально, когда моменты соседних ферромагнитных слоев антипараллельны.

магнитосопротивления не только величиной, но и принципиально.

Чтобы понять, в чем состоит эффект, поясним сначала, что такое «магнитная сверхрешетка». Этот термин означает, что система кроме периода кристаллической решетки имеет еще и иную периодичность. Магнитные сверхрешетки были изготов-

<sup>2</sup> Baibich M. N., Broto J. M. et al. // Phys. Rev. Lett. 1988. V. 61. P. 2472.

лены послойным напылением в высоком вакууме слоев Fe и Cr на охлаждаемую подложку. Соответственно, они представляли собой многослойную тонкопленочную систему из чередующихся магнитных (Fe) и немагнитных (Cr) слоев толщиной всего в несколько атомных плоскостей. Таким образом, эта система обладала кроме периода кристаллической решетки, в каждом слое — своего, еще и периодом, равным суммарной толщине слоев Fe и Cr.

В таких системах между ферромагнитными слоями может осуществляться либо ферромагнитное, либо антиферромагнитное взаимодействие. В первом случае магнитные моменты соседних слоев Fe выстраиваются параллельно, во втором — антипараллельно. Какая из этих ситуаций реализуется — зависит от толщины немагнитной прослойки, в данном случае — слоя хрома.

В образцах Ферта толщина слоев Fe выбиралась равной 30Å, а толщина слоев Cr варьировалась в диапазоне от 9 до 180Å (общее число периодов структуры достигало 40). При этих параметрах между ферромагнитными слоями существует сильное антиферромагнитное взаимодействие.

Что же такое эффект ГМС, иными словами — почему сопротивление этой системы сильно изменяется под действием магнитного поля?

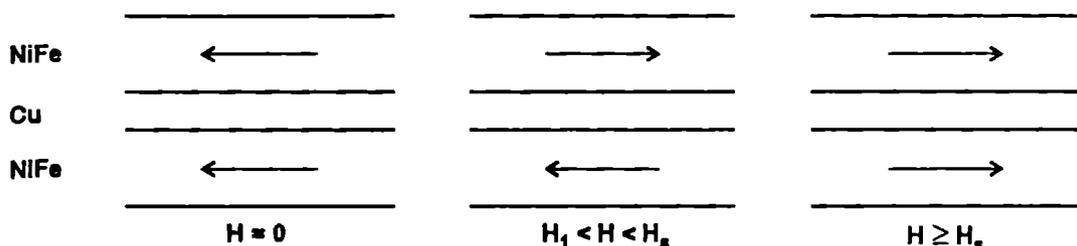
Оказывается, сопротивление сверхрешетки Fe/Cr при антипараллельной ориентации магнитных моментов в ферромагнитных слоях гораздо больше, чем при параллельной. Следовательно, если приложить достаточно сильное внешнее магнитное поле, перемагничивающее систему (ориентирующее магнитные моменты вдоль поля), ее сопротивление уменьшается. Поле, при котором магнитные моменты соседних слоев становятся параллельными, называется полем насыщения  $H_s$ , а величину эффекта удобно определить по относительной разности сопротивления при антипараллельной и параллельной ориентациях магнитных моментов:

$$\frac{\Delta R}{R_{\uparrow\downarrow}(H=0)} = \frac{R_{\uparrow\downarrow}(H=0) - R_{\uparrow\uparrow}(H \geq H_s)}{R_{\uparrow\downarrow}(H=0)}$$

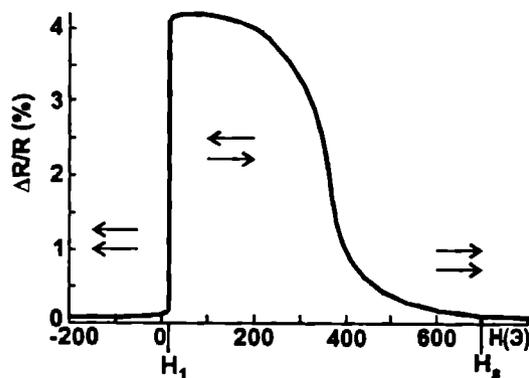
Для толщины слоя Cr, равной 9Å, величина эффекта ГМС, т. е.  $\Delta R/R_{\uparrow\downarrow}$  достигала 50 % при температуре 4.2K — действительно гигантской величины. Иногда вводится другая, более удобная характеристика ГМС —  $\Delta R/R_{\uparrow\uparrow}(H > H_s)$ , и, поскольку  $R_{\uparrow\downarrow} > R_{\uparrow\uparrow}$ , это отношение больше отношения  $\Delta R/R_{\uparrow\downarrow}$ . В частности, при толщине слоя Cr, равной 9Å,  $\Delta R/R_{\uparrow\uparrow} = 75\%$ . В той же системе Fe/Cr позже были получены значения  $\Delta R/R_{\uparrow\uparrow} = 150\%$  при  $T = 4.2K$  и 28% при  $T = 300K$ , а затем, в 1994 г., на пленках из ультратонких слоев Fe (4.5Å) — 220% (!) при 1.5K и 42% при 300K<sup>3</sup>.

Первое время считалось, что наличие сильного антиферромагнитного взаимодействия в системах является необходимым условием возникновения эффекта ГМС. Было исследовано большое количество таких систем: Co/Cu, Co/Ru, Co/Cr, Fe/Cu и др. Во всех системах (за исключением системы Co/Cu, у которой  $\Delta R/R_{\uparrow\downarrow} = 115\%$  при температуре 4.2K и 65% при комнатной температуре) ГМС имело существенно меньшие значения, не превышающие при комнатных температурах 10%. Отличительные особенности эффекта ГМС в этих системах — независимость величины эффекта от ориентации поля в плоскости слоев, уменьшение (а не увеличение, как для обычных металлов) сопротивления при приложении поля, усиление эффекта при увеличении числа слоев. Нужно отметить, что величина магнитного поля насыщения  $H_s$  в этих системах сравнительно велика — 10—20 кЭ, поскольку для перемагничивания нужно преодолеть достаточно большую силу антиферромагнитного взаимодействия. При увеличении толщины немагнитной прослойки антиферромагнитное взаимодействие осциллирует и уменьшается, что сопровождается уменьшением  $H_s$  и, соответственно, уменьшением ГМС.

<sup>3</sup> Schard R., Potter C. D. et al. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 64 (25). P. 3500.



Спин-вентильный сэндвич. Поле обменной анизотропии  $H_1$ , действующее на нижний ферромагнитный слой, направлено влево, а внешнее магнитное поле  $H$  — вправо. Сопротивление  $R$  в первом ( $H=0$ ) и в третьем ( $H>H_s$ ) случаях меньше, чем сопротивление  $R$  во втором случае ( $H_1<H<H_s$ ).



Полевая зависимость магнитосопротивления в спин-вентильной структуре NiFe 62Å/Cu 22Å/NiFe 40Å (по: Dieny B., Szelescu V. S. et al. // J. Appl. Phys. 1991. V. 69(8). P. 4774).

Кроме того, эффект зависит от толщины ферромагнитного и особенно неферромагнитного слоев, материала подложки, буферной прослойки между подложкой и сверхрешеткой, а также других технологических параметров.

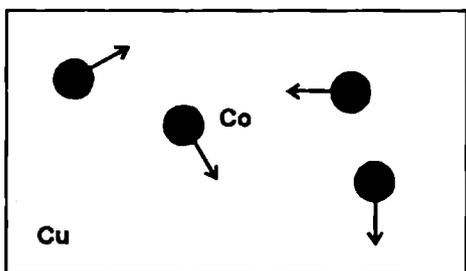
Позже был обнаружен еще один класс магнитных материалов, в которых наблюдался эффект ГМС, — так называемые спин-вентильные (spin-valve) сэндвичи<sup>4</sup> и мультислои с различными удерживающими силами. В этих систе-

мах имеются ферромагнитные слои, в первом приближении не зависящие друг от друга, антиферромагнитного взаимодействия между ними нет. Для создания ГМС необходимо добиться тем или иным способом того, чтобы магнитные моменты ферромагнитных слоев могли иметь разную направленность. В данном классе систем она создается за счет разных удерживающих (коэрцитивных) сил в разных слоях. Тогда в системе из двух ферромагнитных слоев с разными удерживающими силами во внешнем магнитном поле при некотором его значении магнитные моменты одного из слоев (в котором удерживающая сила меньше) переориентируются, а в другом (где сила больше) — остаются ориентированными в прежнем направлении.

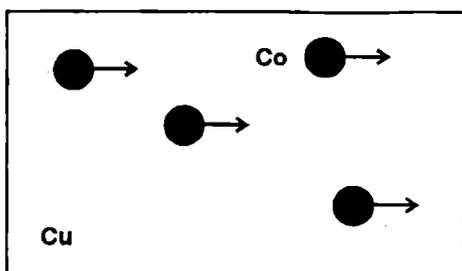
Структура спин-вентильных сэндвичей может быть представлена в следующем виде: подложка/подслой/ФМ1/НМ/ФМ2/АФ / защитный слой. Здесь аббревиатуры ФМ1, ФМ2 означают ферромагнитные слои 1, 2 с различными удерживающими силами. АФ и НМ — слой из антиферромагнитного металла и прослойка немагнитного металла соответственно. В качестве ФМ1 и ФМ2 обычно используются 3d-металлы Co, Ni, Fe или их сплав NiFe, а немагнитной прослойки — Cu, Ag, Au и др. Антиферромагнитный слой изготавливается обычно из сплава Fe<sub>50</sub>Mn<sub>50</sub>, причем его назначение — создать за счет обменного взаимодействия удерживающую силу в соседнем с ним слое. Толщина слоя немагнитного металла в таких структурах делается обычно большей, чем в первом классе материалов, чтобы исключить обменную связь между ФМ1 и ФМ2.

Принцип действия этого сэндвича

<sup>4</sup> Термин «спин-вентильные структуры» означает, что магнитное поле управляет переходом электронов с определенной ориентацией спинов через границу слоев, т. е. создается магнитный затвор.

 $H = 0$ 

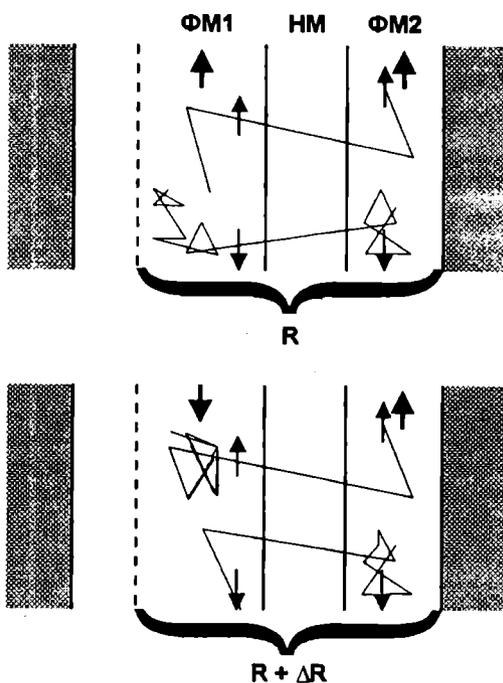
Схематическое изображение гранулированной магнитной пленки. В нулевом поле магнитные моменты атомов Co (темные кружки) ориентированы хаотическим образом. При  $H > H_c$  они ориентируются вдоль поля.

 $H \geq H_c$ 

таков. В исходном состоянии ( $H=0$ ), магнитные моменты слоев ФМ1, ФМ2 параллельны. При увеличении магнитного поля до некоторой небольшой величины  $H_1$  (обычно  $\sim 10$ Э) «свободный слой» ФМ1 перемагничивается, что сопровождается изменением сопротивления. Если дальше увеличивать поле, вплоть до поля насыщения (обычно это  $\geq 200$ Э), то перемагничивается и слой ФМ2, за счет чего магнитные моменты слоев становятся снова параллельными и сопротивление уменьшается до первоначального значения. Наибольший эффект достигается в пермалловых и кобальтовых сэндвичах, для которых при комнатной температуре  $\Delta R/R - 5 - 10\%$ .

Различную удерживающую силу для разных слоев можно создать и без антиферромагнитного слоя АФ. Для этого нужно в процессе изготовления сэндвича (или мультислоев) напылить каждый слой при своих технологических условиях (меняя давление газа в напылительной камере, внедряя дополнительные примеси, прикладывая магнитное поле и т.д.) так, чтобы слои перемагничивались в разных полях, т.е. обладали бы разной коэрцитивной силой.

Заметим также, что появление ГМС в мультислоях и сэндвичах возможно в двух геометриях. В первом случае ток и магнитное поле ориентированы в плоскости слоев, во



Механизм возникновения ГМС в сэндвиче. При параллельном направлении магнитных моментов в обоих ферромагнитных слоях ток переносится в основном электронами со спином вдоль этого направления. Они и обеспечивают низкое сопротивление системы. При антипараллельном направлении магнитных моментов в ферромагнитных слоях электроны с обоими направлениями спина сильно рассеиваются либо в одном, либо в другом слое, и сопротивление системы велико.

втором — ток направлен перпендикулярно ей. Во втором случае ГМС больше, чем в первом, и менее чувствителен к толщине немагнитной прослойки. Величина ГМС для сэндвича Co/Cu составляет 170% при 4.2К.

Наконец, в 1992 г. одновременно

и независимо двумя группами физиков был обнаружен еще один класс магнетиков с сильным эффектом ГМС — гранулированные (кластерные) системы<sup>5</sup>. Их изготавливают из двух металлов с плохой взаимной растворимостью, скажем, Co/Cu, Co/Ag или (NiFe)/Ag, в виде пленок, лент или массивных образцов. Различными технологическими методами, например, отжигом, добиваются того, что малые ферромагнитные частицы (гранулы или кластеры) однородно распределяются в немагнитной матрице. В отсутствие поля магнитные моменты всех отдельных частиц, ориентированные хаотическим образом, при наложении внешнего магнитного поля выстраиваются вдоль него и сопротивление падает. Оказалось, что для получения максимального ГМС (20% при комнатной температуре; это значительно выше, чем у сверхрешеток из тех же материалов) нужны частицы размером 10—50 Å. Поле, в котором происходит перемагничивание этих частиц, равно примерно 10 кЭ, т.е. магниторезистивная чувствительность их меньше, чем у пермалловых спин-вентильных сэндвичей или у однородной пермалловой пленки.

В каких же условиях можно наблюдать заметный эффект ГМС? Оказывается — только в тех системах, в которых размер магнитных неоднородностей сравним с длиной свободного пробега электрона в ферромагнетиках, которая по порядку величины равна 10—100 Å. Если толщина слоев в сэндвичах и мультислоях или размер кластеров в гранулированных пленках превышает длину свободного пробега, эффект исчезает. Второе существенное условие: ферромагнетик должен быть выбран только из числа 3d-металлов (Ni, Fe, Co) или сплавов на их основе, у которых при низких температурах существуют две группы электронов — со спином вдоль ( $\uparrow$ ) и против ( $\downarrow$ ) намагнитченности, — обладающие раз-

личными длинами свободного пробега  $l_{\uparrow}$  и  $l_{\downarrow}$ <sup>6</sup>. Для редкоземельных ферромагнетиков, например,  $l_{\uparrow} = l_{\downarrow}$  и ГМС отсутствует. Таким образом, причиной эффекта является рассеяние носителей тока внутри ферромагнитных слоев и на поверхности их раздела, зависящее от спинов этих носителей. Магнитное поле лишь управляет распределением намагнитченности в системе, непосредственно на рассеяние носителей тока оно почти не влияет. Если такое же распределение создать каким-либо другим способом, например облучением нейтронами, оно приведет к такому же эффекту.

В случае сэндвича, приготовленного из сплавов на основе Ni,  $l_{\uparrow} \gg l_{\downarrow}$  (в частности, для пермаллоя  $l_{\uparrow}/l_{\downarrow} \sim 10$ ). Когда оба этих соседних слоя намагнитчены в одном направлении, то электрон со спином  $\uparrow$  в обоих слоях имеет большую длину свободного пробега, а электрон со спином  $\downarrow$  в обоих слоях — маленькую длину  $l_{\downarrow}$ , и переходы через прослойку не изменяют ситуацию. Следовательно, ток в основном переносится электронами со спином  $\uparrow$ , и сопротивление мало. Можно сказать, что для электронов со спином  $\uparrow$  осуществляется режим «короткого замыкания». Если ориентация магнитных моментов в соседних ферромагнитных слоях антипараллельна, то электроны со спином вверх и вниз сильно рассеиваются либо в одном, либо в другом слое, поэтому сопротивление больше, чем при параллельной намагнитченности ферромагнитных слоев, так как уже нет носителей, передвигающихся на большие расстояния. Если прослойка слишком толстая и спин-поляризованный электрон не может перейти из одного ферромагнитного слоя в другой, то сопротивление системы не зависит от относительной ориентации магнитных моментов, т. е.

<sup>6</sup> Действительно, в ферромагнитных 3d-металлах вследствие обменного взаимодействия гибридные s- и d-зоны электронов проводимости расщепляются. Плотности состояний этих зон на уровне Ферми становятся разными, а следовательно, разными будут и длины свободного пробега, пропорциональные плотностям состояний.

<sup>5</sup> Berkowitz A. E., Mitchell J. R. et al. // Phys. Rev. Lett. 1992. V. 68. P. 3745; Xiao J. Q., Jiong J. S., Chien C. L. // Ibid. P. 3749.

ГМС отсутствует. Отметим также, что кроме объемного, зависящего от спинов рассеяния часто возникает рассеяние на границе раздела слоев, зависящее от взаимной ориентации магнитных моментов с обеих сторон от границы и направления спина электрона, которое тоже может привести к возникновению эффекта ГМС.

Для количественного описания ГМС используются два подхода: квазиклассический и квантовый. Квазиклассический подход основан на решении кинетического уравнения для движения электронов со спином в неоднородной магнитной системе, какой является мультислойная система или гранулированная пленка. Достоинство этого подхода в простоте вычислений, но, конечно, он не позволяет учесть влияние квантовых эффектов на ГМС, в частности для ультратонких слоев, когда эти эффекты важны. В гранулированных пленках квазиклассический эффект вообще не применим. Квантовый подход, основанный на использовании формализма Кубо, позволяет выявить пределы применимости квазиклассики и учесть и квантовые размерные эффекты, и наличие потенциальных барьеров на границах раздела. Он, однако, достаточно сложен и лишь в последнее время начал широко применяться для исследования ГМС в сложных случаях гранулированных пленок или сэндвичей, когда ток перпендикулярен плоскости слоев. В частности, такие исследования проводятся в настоящее время на кафедре магнетизма физического факультета МГУ при активном участии авторов этой статьи.

Мы видим, таким образом, что существует ряд систем чрезвычайно чувствительных к воздействию магнитного поля. Если чувствительность ранее широко использовавшихся в технике магниторезистивных датчиков, основанных на эффекте анизотропного магнитосопротивления, не превышала  $0.2\%/Э$  при комнатной температуре, то в системах с ГМС она может достигать  $1-2\%/Э$  и выше. Поэтому опытные образцы датчиков, использующие ГМС для бесконтактного измере-

ния магнитного поля и соответственно создающего его тока, дали весьма обещающие результаты. Кроме того, системы с ГМС могут использоваться для изготовления датчиков, определяющих скорость вращения, магниторезистивного компаса и магнитных головок видеомагнитофонов, а также в других традиционных сферах применения магниторезистивных устройств. Но более важной оказалась даже не магниторезистивная чувствительность систем с ГМС, а возможность изготовить ультратонкий датчик магнитного потока толщиной менее  $100\text{Å}$ . Почему это так важно? В настоящее время при плотности магнитной записи  $\sim 10^7$  бит/см<sup>2</sup> нужно считывать информацию с участка записи на жестком диске или ленте размером  $\sim 1000\text{Å}$ . Следовательно, для регистрации магнитного потока над этим участком необходимо иметь ультраминиатюрную магнитосчитывающую головку. В ближайшее десятилетие прогнозируется многократное повышение плотности записи (что во многом и определит прогресс в развитии вычислительной техники), а значит, должен уменьшаться размер головки и повышаться ее чувствительность.

До последнего времени для считывания плотной магнитной записи использовались магниторезистивные головки, работающие на эффекте анизотропного магнитосопротивления (АМС), но их возможности практически исчерпаны. Действительно, АМС не превышает в массивных образцах  $4-5\%$  при комнатной температуре, а в пленочных образцах толщиной  $300-500\text{Å}$  —  $1\%$  и значительно падает при дальнейшем уменьшении толщины пленки за счет дополнительного рассеяния электронов проводимости. Но и эту величину эффекта АМС нельзя использовать в полном объеме в силу нелинейности магниторезистивного отклика головок с АМС, т.е., строго говоря, в них изменение сопротивления не прямо пропорционально изменению магнитного поля. Поэтому приходится использовать только начальный, квазилинейный участок зависимости  $R(H)$ . Чувствительность

спин-вентильного датчика, работающего на эффекте ГМС, при толщине  $100\text{\AA}$  примерно в 50 раз больше чувствительности обычного АМС-датчика из магнитного металла той же толщины. Более того, если в обычных системах с ГМС магниторезистивный отклик, как правило, нелинеен, то в спин-вентильных структурах удается добиться линейного отклика, что расширяет динамический диапазон регистрируемых магнитных полей. Линейность достигается различными технологическими способами, в частности созданием ортогональной ориентации поля обменной анизотропии по отношению к оси легкого намагничивания свободного ферромагнитного слоя.

Пленочные считывающие головки, работающие на ГМС, по-видимому, вне конкуренции, и именно с их разработкой связывается дальнейший прогресс в технике сверхплотной записи магнитной информации. В настоящее время во многих научных лабораториях уже ведется поиск новых материалов с ГМС, обладающих высокой технологичностью, высоким значением магниторе-

зистивной чувствительности, линейным откликом на магнитное поле и другими важными для практического использования свойствами. Нет сомнения, что эта работа увенчается успехом и эффект ГМС будет широко использоваться в различного рода устройствах.

Отметим в заключение, что в самое последнее время обнаружены новые металлические системы  $\text{La-Ca-Mn-O}$ ,  $\text{La-Ba-Mn-O}^7$ , обладающие еще большей величиной эффекта магнитосопротивления (до 127 000% при 77К и 400% при 280К в поле 6Т). Эти системы являются однородными ферромагнетиками, поэтому столь большая величина магнитосопротивления отнюдь не связана с обсуждаемым в данной статье эффектом ГМС, а обусловлена другими, неясными пока механизмами. Оказывается, такое простое на первый взгляд и давно известное явление, как магнитосопротивление, таит в себе много неожиданностей и возможностей.

---

<sup>7</sup> McCormark M., Jin S. et al. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 64. P. 3045.

## Под мостовыми Красной площади

**Н. А. Кренке,**

кандидат исторических наук

**С. З. Чернов,**

кандидат исторических наук

Институт археологии РАН  
Москва

**МОСКОВСКАЯ** археологическая экспедиция Института археологии РАН (начальник экспедиции — С. З. Чернов) начала свои исследования на Красной площади в 1987 г. с раскопок на территории бывшего Монетного двора, где были выявлены хорошо сохранившиеся слои XIV—XV вв. и обнаружены следы Арсенала, примыкавшего в XIV—XVII вв. к Китайгородской стене. Одновременно с раскопками здесь велись и реставрационные работы.

В 1988 г., в связи с реконструкцией дорожного покрытия Исторического проезда, на его территории по инициативе экспедиции развернулись ширококомасштабные раскопки (2 тыс. м<sup>2</sup>). Именно тогда были выявлены фундаменты Воскресенских ворот Китай-города, и лишь вмешательство экспедиции и общественности позволило сохранить их от уничтожения<sup>1</sup>. Раскопки показали, что Красная площадь представляет собой уникальный памятник московской археологии. Культурные слои посада Москвы XIII—XV вв. оказались перекрыты вымосткой площади на рубеже XV—XVI вв. и в последующем практически не нарушались, ибо сколько-нибудь широкое строительство там не велось. На Историческом проезде удалось исследовать более 10 построек раннемосковского времени, в том числе

уникальные: сруб 1248 г. (его точная датировка стала возможной благодаря впервые примененному в московской археологии методу дендрохронологического анализа), а также сруб XV в., давший первую московскую берестяную грамоту<sup>2</sup>.

Исследования на месте возведенного в 1636 г. Казанского собора были начаты экспедицией в 1989 г. Тогда же на Разинском спуске, возле Лобного места, изучались фундаменты Раската (1636 г.) и слои торгового XVII в. Комплексное археолого-палеонтологическое, почвенно-геоморфологическое, остеологическое изучение этого участка стало ключом для разноплановых реконструкций — от восстановления этапов формирования городского ландшафта Москвы<sup>3</sup> до воссоздания интерьера кабака, помещавшегося в Раскате в петровское время, и состава подававшихся там рыбных блюд.

В 1991—1992 гг. были целиком раскопаны фундамент Казанского собора и прилегающая к нему территория. Это позволило прояснить строительную историю храма, выявив предшествовавшие ему постройки, одна из которых, судя по серии радиоуглеродных дат, сгорела около 1220-х годов. Благодаря этим исследованиям не только получен обширный материал, который был положен в основу реставрационных

© Кренке Н. А., Чернов С. З. Под мостовыми Красной площади.

<sup>1</sup> Чернов С. З. Раскопки в Историческом проезде и перспективы московской археологии // Вестн. АН СССР. 1989. № 3. С. 116—124. Он же. Археологическая летопись Москвы // Наука и человечество. 1991. Международный ежегодник. М., 1991. С. 66—79.

<sup>2</sup> Чернов С. З., Бойцов И. А. Раскопки в Историческом проезде и изучение Великого посада Москвы XIII—XIV вв. // Сов. археология. 1992. № 1. С. 211—230.

<sup>3</sup> Бойцов И. А., Гунова В. С., Кренке Н. А. Ландшафты средневековой Москвы: археолого-палеонтологические исследования // Изв. РАН. Сер. геогр. М., 1993. № 4. С. 61—67.

работ и позволил по-новому прочесть историю памятника, но в прямом смысле подведена основа под восстанавливаемый храм. Именно открытие в ходе раскопок подземной части сооружений XVII в. дало возможность планировать не строительство новодела, а воссоздание утраченного памятника на его прежнем основании.

Сказанное выше вполне применимо и к Воскресенским воротам, и к Иверской часовне, которые были не просто памятниками архитектуры, но и своеобразным палладиумом Москвы.

### ВОСКРЕСЕНСКИЕ ВОРОТА СТРОЯТСЯ В ЧЕТВЕРТЫЙ РАЗ

В 1988 г. трудно было предположить, что так скоро, всего через шесть лет, придется снимать положенные тогда консервирующие покрытия фундаментов Воскресенских ворот, рассчитанные на века. Впрочем, это и не удивительно — ведь Воскресенские ворота всегда ощущали на себе «биение пульса истории» самым прямым образом: построенные итальянцем Петроком Малым в 1535—1538 гг., перестроенные два раза (как уточнено раскопками) в XVII в., они были отреставрированы в 1929 г. и разрушены в начале 1930-х.

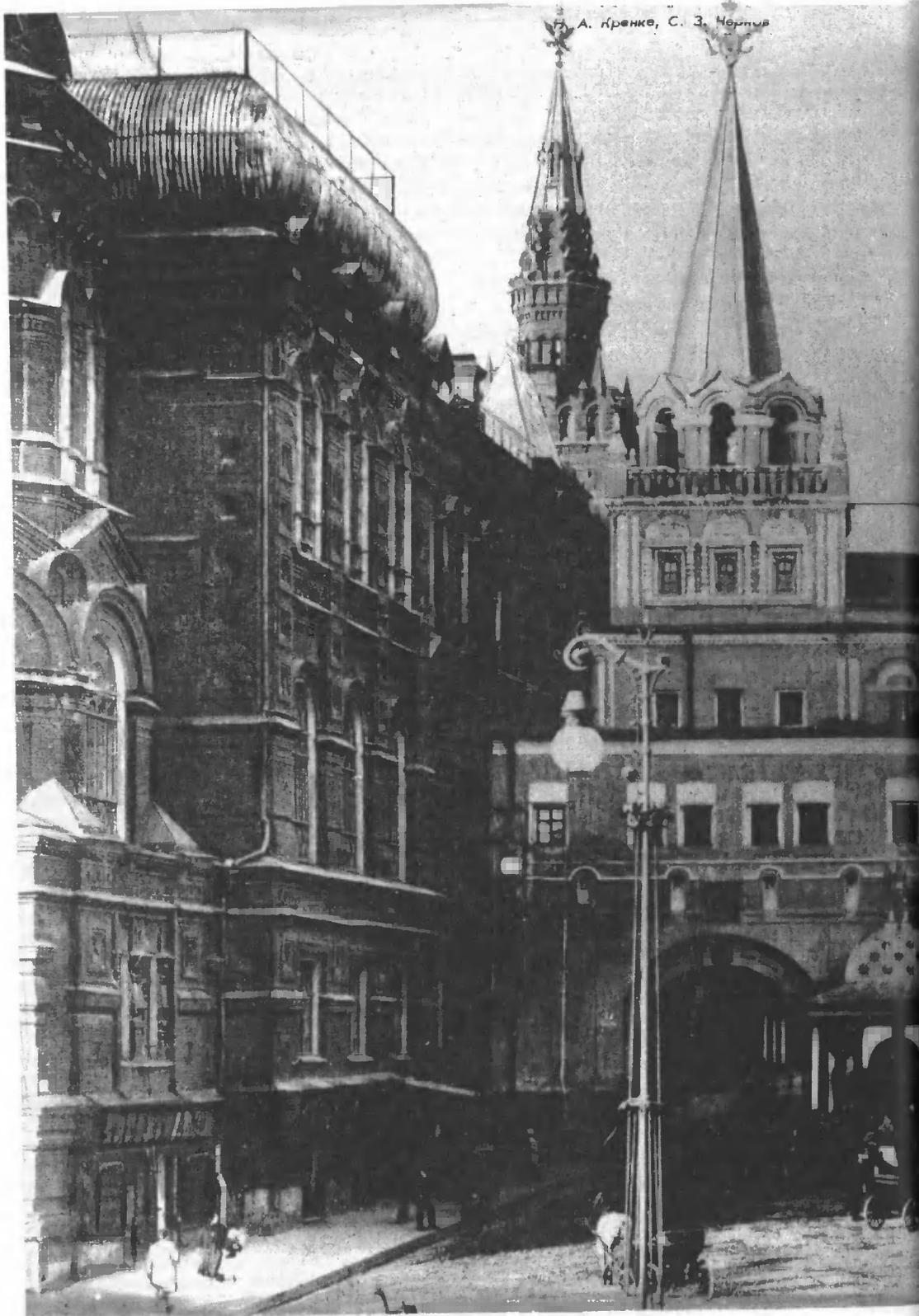
В рамках программы воссоздания Воскресенских ворот Институтом «Спецпроектреставрация» (главный архитектор проекта О. И. Журин) в 1994 г. были осуществлены специальные археологические и архитектурно-археологические исследования. Их задача — максимально полно изучить и отразить на планах и фотографиях этот замечательный памятник московской старины перед тем, как на нем будут возведены новые Воскресенские ворота. В ходе исследований, которые проводились авторами статьи, был снят план фундаментов, отразивший их состояние в настоящее время, и проведена детальная фотофиксация (более 70 снимков). В соответствии с рекомендациями архитектора В. В. Кавельмакера на фундаментах заложено девять зондажей, один из которых

развернут в архитектурно-археологический раскоп. Кроме того, были проведены раскопки в зоне прокладки водостока, которые дали ценные свидетельства о стратиграфии культурного слоя XIII—XX вв.

Важнейшие вехи истории освоения человеком левого берега р. Неглинной в районе Исторического проезда стали понятны благодаря целой серии свидетельств, полученных при раскопках 1988—1991 гг. Как выяснилось, уже в III—II тысячелетиях до н. э. здесь началось сведение леса. Поставленные в XIII в. постройки городского посада перекрыли предшествовавшую им пашню (огороды?). После пожара 1493 г. застройка по велению Ивана III не была возобновлена, и на ее месте возникла первая Красная площадь — тщательно очищенный и замощенный галькой открытый плацдарм перед стеной Кремля.

Неожиданной для нас оказалась возможность получить при архитектурно-археологических раскопках фундаментов ворот новые свидетельства их предыстории. Ранний культурный слой находился там, где его сохранность была крайне маловероятной — на участках вдоль внутреннего фасада фундаментов XVI в. По-видимому, строители того времени использовали продуманную систему строительных лесов и «не разводили грязи», иначе не могли бы сохраниться в непотревоженном виде напластования XIII — начала XVI вв., прорезанные фундаментным рвом при возведении Китайгородской стены и ворот. Напластования эти, толщиной до 30 см, перекрывали погребенную почву со следами срезки (определение А. Л. Александровского) и углубленные в материк<sup>4</sup> хозяйственные ямы с керамикой XIII—XV вв. и небольшим количеством кухонных отбросов — костей крупного рогатого скота, свиньи, лошади. Особенно интересны были свидетельства «инженерной подготовки» территории в XV в.: в

<sup>4</sup> Материк в археологии — исходная поверхность, на которой залегают культурные слои.

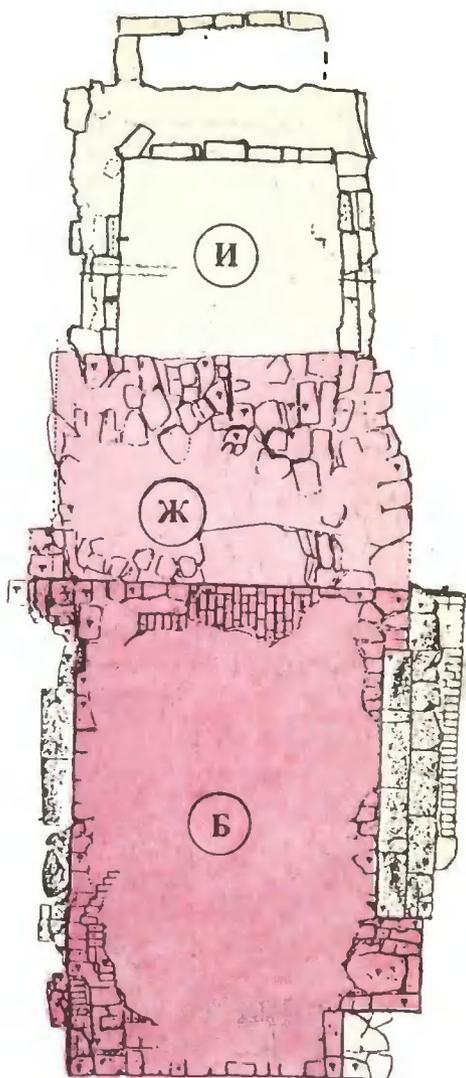
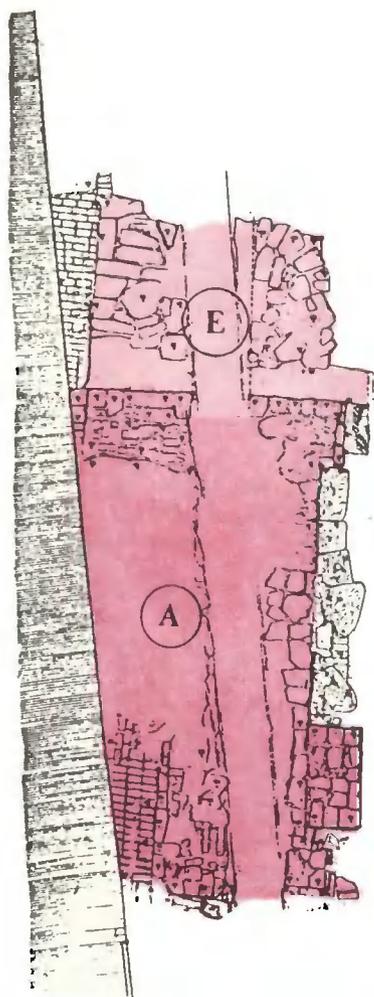


Г. А. Кренке, С. Э. Мерлов



под мостовыми красной площади

Воскресенские ворота и часовня Иверской иконы Богоматери. Начало XX в. Вид от Манежной площади.

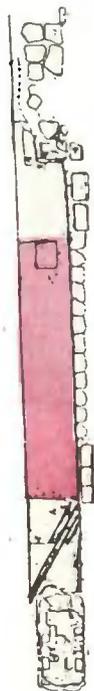
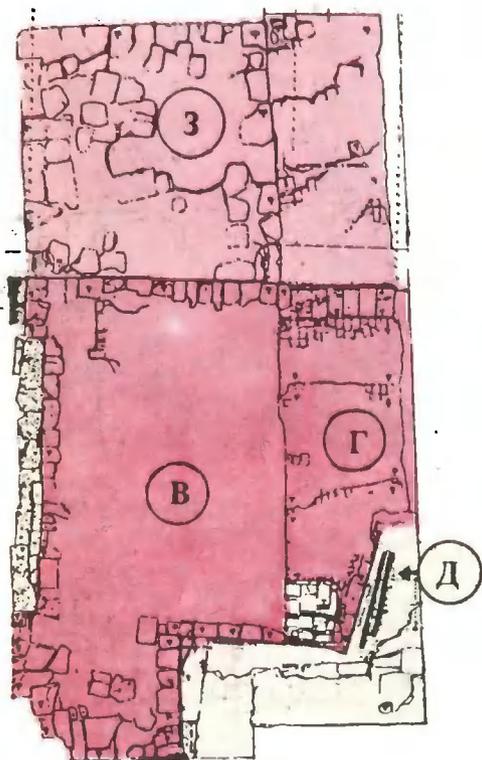


раскоп попал фрагмент деревянного водостока, состоящего из трех бревен.

В зоне прокладки современного водостока был расчищен (на пространстве длиной в 11 м) профиль культурных отложений раннего времени. Ценность этого профиля довольно велика. Дело в том, что раскопки 1988 г. зафиксировали на Историческом проезде следы срезки раннего культурного слоя, которая была произведена при создании площади, — вымостка из мелкого гравия залегала непосредственно на материке. Однако оставалось неясным, какими способами

(помимо срезки) устраивалось покрытие площади. Раскопки 1994 г. позволили ответить на этот вопрос.

В материке, который залегает на глубине 1.4—1.8 м от современной поверхности проезда, оказались три ранние постройки. Одна из них (яма 17) содержала серую посуду, близкую по формам к комплексу из сруба 1248 г., другая (яма 18) — красноглиняную гладкую и белоглиняную керамику второй половины XV в. и третья (яма 19) — красноглиняную XV в. Все три сооружения датируются временем до 1493 г. Их перекрывали залегавший

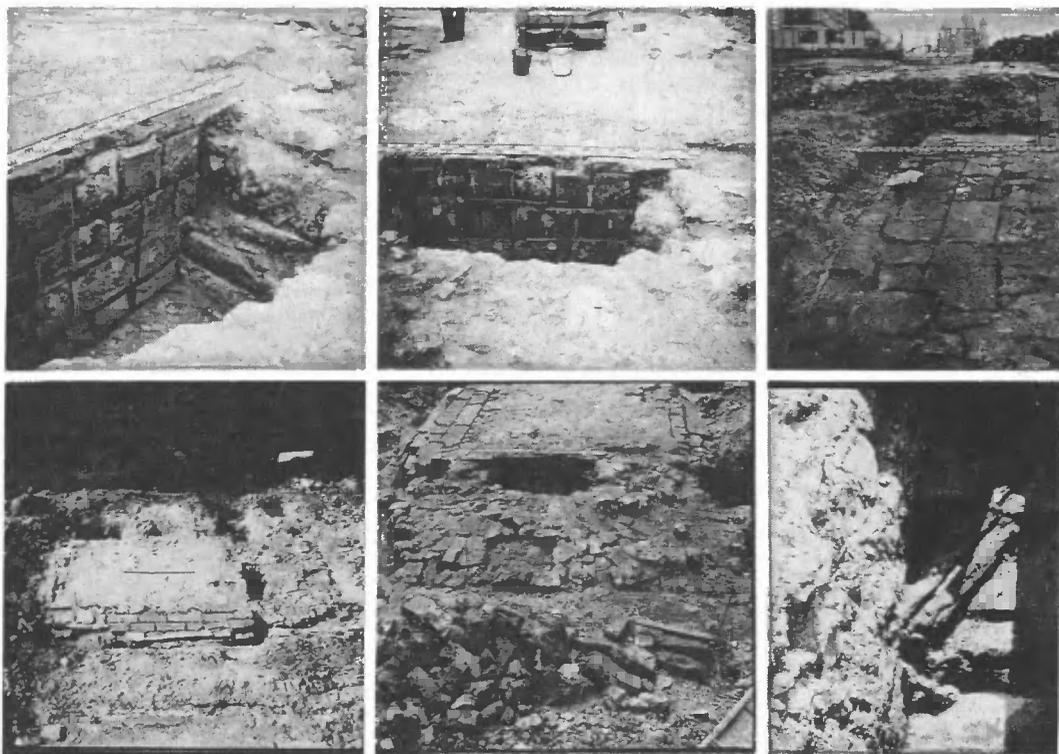


85  
 План Воскресенских (Негли-  
 менских) ворот и часовни  
 Иверской иконы Богородицы,  
 снятый в ходе раскопок  
 1994 г. Буквами обозначены  
 фундаменты: пилонов Негли-  
 менских ворот (А, Б, В) и  
 позднейшей достройки ворот  
 (Е, Ж, З), Китайгородской  
 стены (Г), в которой выло-  
 жено углубление — печура  
 (Д), часовни 1782 г. (И);  
 нанесены по данным фикса-  
 ции 1988 г.

на материке культурный слой и песчаная подсыпка мощностью 5–30 см, поверх которой была зафиксирована хорошо уже известная по раскопкам 1988 г. выстилка мелким гравием — первоначальная вымостка площади. Таким образом, здесь мы впервые получили возможность проследить, как сооружалась Красная площадь.

Фундаменты Воскресенских ворот сохранились в виде оснований трех пилонов (устоев), к которым примыкают фундаменты Китайгородской стены и Иверской часовни. Конструкции пилонов сходны — в них с первого же

взгляда выделяются два строительных этапа. Фундаменты ворот 1535—1538 гг. (они назывались тогда Неглименскими) с внутренней и внешней сторон были облицованы хорошо отесанными блоками белого камня, а внутри заполнены бутовым камнем, скрепленным раствором извести с белокаменной крошкой. Особенно впечатляет участок лицевой кладки 1535—1538 гг., некогда обращенный к р. Неглинной, а в ходе исследований частично освобожденный от закладок 1680 г. Сохранился фундамент и два яруса кладки цоколя (уровень дневной



*Раскопки Воскресенских ворот в 1994 г. Верхний ряд (слева направо): лицевая кладка цоколя и фундамента центрального (второго) пилона ворот 1535—1538 гг.; вымостка проезжей части ворот. Нижний ряд: центральный пилон; забутовка фундамента 1680 г.; водосток XV в.*

поверхности XVI в. соответствует середине второго ряда кладки). На белокаменном цоколе располагалось основание кирпичной кладки ворот на высоту двух рядов.

Общая глубина белокаменной кладки 2,6 м. Приблизительно до уровня дневной поверхности XV—XVI вв. прослеживалась верстовая кладка из гладкоотесанных блоков известняка. Ниже, до глубины 10 см шла более грубая кладка, которая лежала на подушке из чередующихся слоев белого камня (на извостковой заливке) мощностью 70—80 см. Фундамент покоится на свайном поле, которое фиксировалось в виде кольев длиной около 1 м, забитых вертикально в грунт на расстоянии примерно 30 см

друг от друга. Сваи не потеряли своей формы, но в значительной степени утратили прочность.

От 1535—1538 гг. сохранились основания пилястр фасада со стороны Неглинной. Они были заложены в 1680 г. и благодаря этому дошли до наших дней почти не потревоженными позднейшими перестройками. Пилястры фасада, обращенного к Красной площади, перекладывались в XVII в. От более ранних они отличаются размерами белокаменных блоков, породой белого камня и особенностями кладки. Если в XVI в. применялся камень подквадратной формы, то в XVII в. — прямоугольные блоки. Зондаж, осуществленный в центральной части пилона 1 (на приведенном плане он обозначен буквой А), открыл кладку из прямоугольных блоков, которая в 1680 г. была заложена бутовым фундаментом. Из этого следует, что перекладка пилястр по этому фасаду ворот произведена до 1680 г. Таким образом, Воскресенские ворота строи-

лись, видимо, не в два, а в три этапа, причем на втором этапе отремонтировался фасад, обращенный к Красной площади.

Наиболее интересные результаты получены в зондаже, заложенном на пилоне 3 (на плане он обозначен буквой В). Здесь под кладкой начала XVIII в. удалось выявить фундаменты Китайгородской стены 1535—1538 гг., в частности, лицевую белокаменную кладку и кладку печуры (углубление в стене для установки орудий нижнего яруса боя). Кроме того, траншеей, прорытой вдоль корпуса Монетного двора, было зафиксировано основание Китайгородской стены, определена ее ширина (4.45 м). На основании полученных данных на этом участке уже начато воссоздание стены с печурой, о существовании которой ранее не было известно.

В XVII в., когда ворота превратились из проезда в стене в монументальное башнеобразное сооружение, фундаменты были расширены с внешней стороны на 4 м и достигли общей толщины в 12.5 м. От строительства 1680 г. сохранилась лишь забутовка (лицевые кладки отсутствуют), резко отличающаяся от забутовки XVI в. Она состоит из кусков белого камня и кирпичного боя, скрепленных глиняным раствором. В бутовой кладке обнаружено большое количество белокаменных блоков вторичного использования, резные архитектурные детали, каменные ядра. Сохранившаяся часть фундамента имеет мощность 1.9 м.

#### ВОДОВОРОТ ЖИЗНИ XVII—XX вв.

В сжатом ритме сегодняшних дней год 1988, когда впервые были раскрыты фундаменты ворот, выглядит другой эпохой. Присматриваясь к содержанию отвалов собственных раскопок 1988 г., которые теперь составляют значительную часть культурных напластований Исторического проезда, мы еще раз убедились в немалых возможностях археологии. Наличие, скажем, жестяных иностранных банок при отсутствии пластиковых бутылей

позволяет столь же хорошо диагностировать отложения эпохи «перестройки», как наличие изразцов — слои XVII—XIX вв. Приведенный пример показывает способность археологии подмечать не только существенные перемены в культуре, но и малейшие нюансы давно ушедшего быта. Так, в проездах ворот имелись выстилки из белокаменных плит (лещади), лежавших в два слоя. Поверхность их сильно сношена, и этот «след ног» москвичей XVII в. вызывал едва ли не самое сильное впечатление у посетителей и участников раскопок.

Часть раскопа, заложенного вдоль трассы водостока, пришлось на необычное сооружение — длинную (более 7 м), узкую (1.5 м) и глубокую (2 м от уровня современной поверхности) яму, стенки которой были укреплены четырьмя бревнами, уложенными одно на другое и зафиксированными вертикальными сваями с поперечными распорками. Яма была заполнена культурным слоем, содержащим около 6 тыс. находок; в основном это белоглиняная, чернолощенная, поливная (с зеленой поливой), ангобированная и расписная керамика; встречались обломки мундштуков от курительных трубок, полихромных изразцов и стеклянных сосудов. По находкам сооружение датируется первой четвертью XVIII в. Поскольку на дне его обнаружен слой извести, можно полагать, что это была яма для ее гашения. С каким строительством связано устройство ямы, еще предстоит выяснить. Поверх ямы залегал почти метровый слой битого кирпича с фрагментами изразцов XVIII—XIX вв. Скорее всего, эти отложения возникли при разрушении Аптеки, стоявшей на месте Исторического музея.

Исследования 1994 г. показали, что к такому памятнику, как культурный слой и архитектурно-археологические объекты Красной площади, можно обращаться вновь и вновь. Но при этом нужно помнить: чем меньшими будут вторжения в этот памятник сегодня, тем больше исторической информации мы извлечем из него в будущем.

# Неизвестное землетрясение в Крыму

А. А. Никонов,

доктор геолого-минералогических наук  
Объединенный институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН  
Москва

**СИЛЬНЫЕ** сейсмические явления в Крыму известны далеко не полно. Материал начал собираться только после присоединения Крыма к России в 1783 г., а инструментальные наблюдения организованы после известных разрушительных землетрясений 1927 г. Но что значат 200 лет в сейсмической истории горной области, которая активно развивается миллионы лет? В этой ситуации любые неизвестные ранее сведения о сильных исторических землетрясениях исключительно важны. Особенно, если они касаются очагов, прежде неизвестных или недооцененных. Один такой участок в Крыму — крайний его юго-запад, где расположен Севастополь. Основанный в конце XVIII в. город-порт, при всей бурной и драматической истории, в сейсмическом отношении живет сравнительно спокойно. В 1927 г. колебания здесь, правда, достигли 7 баллов, и возникли небольшие разрушения. Но из местных землетрясений только событие 1875 г. сказало в городе тоже как 7-балльное. Другие были значительно слабее и в общем город и округ не тревожили. Но достаточно ли этих сведений, чтобы не беспокоиться за базу Черноморского флота? Недав-

ние исторические и археологические изыскания показывают, что сейсмическая история района несравненно драматичнее, чем до сих пор представлялось.

Обрисует только самое позднее из поразивших юго-запад Крыма разрушительных землетрясений. Известный турецкий путешественник XVII в. Эвлия Челеби в своих записках упомянул между прочим о том, что знаменитая Джума-мечеть в Гезлеве имела два великолепных минарета, один из которых разрушен землетрясением<sup>1</sup>. Пятничная мечеть, построенная во второй половине XVI в. знаменитым турецким архитектором Коджи Синаном, до сих пор является украшением и достопримечательностью Евпатории, хотя минаретов у нее давно уже нет (они были разобраны еще в первые годы советской власти). Русский священник Иаков Лызлов в 1634—1635 гг. так охарактеризовал ту же мечеть: «...зело велика и украсена»<sup>2</sup>, тогда как для Эвлия Челеби в 1665—1666 гг. землетрясение было уже в некоем прошлом. Речь, несомненно, идет о землетрясении сильного, интенсивность которого в Евпатории составила

около 8 баллов, так как при толчках меньшей силы разрушения минаретов не происходят.

Между тем французский инженер Боллан, проведший 18 лет (1630—1648) на юге Украины и в Крыму и оставивший подробные записки, ничего не сообщает о землетрясении<sup>3</sup>. Поэтому скорее всего оно произошло позднее, между 1648 и 1660 гг. Другие письменные доказательства, уточняющие время и обстоятельства события, найти не удастся. Но, может быть, можно привлечь письменные источники из других районов Украины? В поисках таких документов автор этих строк заметил одно короткое и не привлекавшее ранее внимание сообщение из Киева. В своих записках под 1650 г. киевлянин Я. Ерлич пишет: «...дня 19 апреля из вторника на среду в ночь перед рассветом земля тряслась»<sup>4</sup>. Ему как очевидцу вполне можно верить.

Однако возникают два вопроса: не является ли упомянутое сотрясение в Киеве очередным отголоском карпатского землетрясения, как это неоднократно случалось и раньше, и позже, и возможно ли,

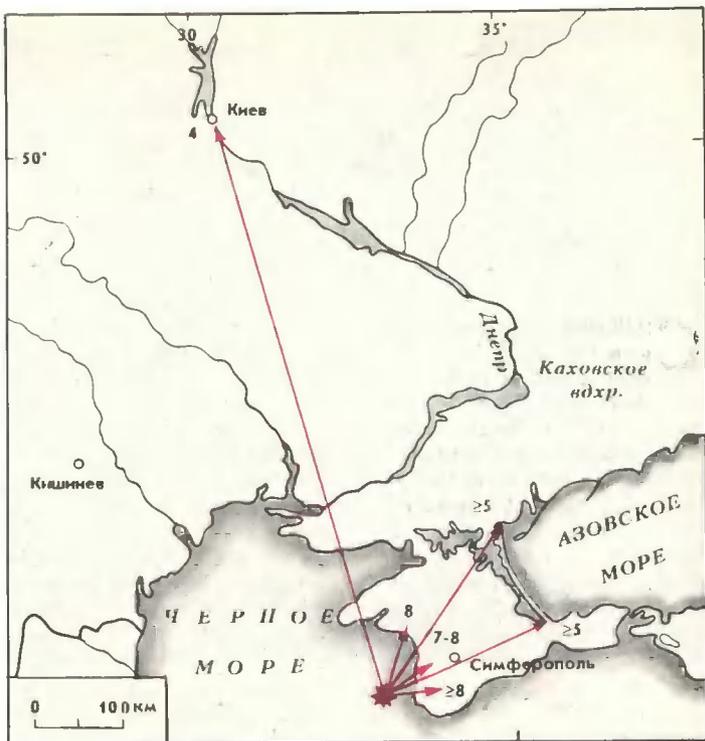
<sup>1</sup> Księga podróży Ewliji Czelebiego (wybor). Warszawa, 1969.

<sup>2</sup> Протопопов М. Инкерманский монастырь близ Севастополя. Севастополь, 1905.

<sup>3</sup> Описание Украины Боллана. СПб., 1832.

<sup>4</sup> Latopisiec albo kroniczka Joachima Jerlicza, z rekopisu widal k wl. Wojcicki. Warszawa, 1853. T. 1.

Схема распространения колебаний крымского землетрясения 1650 г. Звездочкой обозначен вероятный эпицентр. Стрелками показаны направления сотрясений и пункты их фиксации, цифрами — балльность.



чтобы колебания от крымского землетрясения достигли Киева? На первый вопрос можно ответить отрицательно, поскольку ни из одного более близкого к Карпатам пункта, да и из самих Карпат, ни в одном источнике не сообщается о землетрясении в 1650 г. О всех других сильных карпатских землетрясениях, даже предыдущих столетий, сообщения многократны.

На второй вопрос, наоборот, есть основания ответить положительно. Расчеты показывают, что сильное землетрясение у крымских берегов вполне может распространиться в виде колебаний в 4—5 баллов до среднего течения Днепра. К тому же имеется свежий пример. Землетрясения 1927 г. в Крыму ощущались на всей южной Украине, и в Киеве колебания составили 3—4 балла.

Поэтому весьма вероятно представляется принятая для обсуждаемого землетрясения дата, указанная для сотрясений в Киеве.

Но действительно ли в западном Крыму в середине XVII в. имело место столь сильное (не слабее, чем в 1927 г. на южном берегу) сейсмическое событие? Без дополнительных и независимых подтверждений приведенные скудные сообщения, естественно, вызовут сомнения.

Такие подтверждения удалось получить из нескольких источников разного характера.

Во-первых, есть основания полагать, что в евпаторийской мечети пострадал не только один из минаретов, но и само главное здание. Во всяком случае у этой мусульманской святыни уже в начале XX в. снаружи не хватало михрабной части, стрельчатых арок бывшей северной галереи с колоннами. А при реставрационных работах в 70-х годах внутри памятника обнаружили следы деформаций и последующих укрепительных сооружений<sup>5</sup>. Так, во входной арочной галерее из пяти первоначальных арок открытой осталась одна, а остальные заложены в древности. Расстреканными оказались положенные поверх опорных колонн толстые каменные

плиты, лопнул свод на северной подпружной арке, так что вся она была заложена новой внутренней аркой на новом основании. Все эти укрепительные меры относятся, несомненно, еще к турецкому времени (до второй половины XVIII в.), но они не одновременны строительству (вторая половина XVI в.). Столь серьезные повреждения капитального памятника не являются следами дефектов строительства, а скорее возникли при сильном землетрясении, интенсивностью порядка 8—9 баллов. Между тем известные здесь подземные толчки, начиная с конца XVIII в., не достигали и 6 баллов.

В середине XVII в. Херсонес как город уже не существовал и поэтому для выяснения вопроса малоинформативен. Но зато интересные наблюдения удалось

<sup>5</sup> Устное сообщение архитектора-реставратора Е. Н. Жеребцова.



*Остатки генуэзской крепости Чембало (XIV—XV вв.) в Балаклаве на высоком скальном берегу Черного моря. Вид с запада.*

*Здесь и далее фото автора.*

сделать в крепости Каламита, расположенной у восточного окончания Севастопольского залива. Построенная не ранее первой половины XV в., крепость перестраивалась в турецкое время, т. е. заведомо после 1475 г., и использовалась до XVIII в. Временем перестройки считают XVII в., что согласуется и с радиоуглеродными датировками. Причины перестройки обычно ищут в политических событиях. Но при обследовании остатков стен в 1992 г. на них обнаружены следы сильных сейсмических воздействий. Наиболее ярким можно считать косой сдвиг по горизонтальной плоскости основного массива первоначальной стены внутри,

так что на внешнем ее фасе образовалась сужающаяся приступка, а на противоположном — расширяющийся нависающий козырек. К тому же стена наклонилась в сторону сдвига. Такого рода деформации, учитывая, что стена поставлена на коренных скальных известняках и построена прочно на известковистом цементе, могли быть следствием сейсмического толчка интенсивностью около 8 баллов.

Вот такие нарушения и потребовали установки укрепительных стен на деформированных участках, усиления башен внешним поясом кладки и возведением новых куртин на участках полностью рухнувших стен, что при профессиональном обследовании наблюдается в современных развалинах достаточно отчетливо. Согласно радиоуглеродному анализу древесины из возобновленных участков стены, ее реконструкция происходила около 1680 г.

Подобного характера деформации и реконструкции обнаружены нами и в стенах построенной генуэзцами крепости Чембало (Балаклава). В обоих случаях речь идет о серьезных повреждениях монументальных сооружений, которые возникают при землетрясениях интенсивностью не менее 8—9 баллов.

С точки зрения сведений о рассматриваемом землетрясении можно проанализировать еще одно забытое наблюдение. В 20-х годах нашего столетия на южном берегу Севастопольского залива, в Килен-бухте, при разработке камня была вскрыта старая ниша в прибрежных выходах известняков. Она оказалась необычной в нескольких отношениях<sup>6</sup>. Высота полости

<sup>6</sup> Михайловский С. Н. О некоторых современных отложениях, террасах и ракушнях Черноморского побережья Кавказа и Крыма // Изв. Геол. комитета, 1927. Л., 1928. Т. 46. № 7. С. 741—749.



*Руины цитадели и верхней башни крепости Чембало со следами сейсмических разрушений (расщелина на стыке кладки, обрушение юго-восточного сектора круглой массивной башни). Вид с востока.*

достигала 4 м при ширине 3—5 м, причем дно располагалось на высоте 2 м над уровнем моря. К моменту вскрытия она была целиком заполнена рыхлыми отложениями — в основном суглинком с обломками, а также культурными остатками. Внизу, на каменном дне ниши, залежали два культурных слоя с угольками и остатками железных и керамических изделий, а также принесенных людьми раковин. Судя по тому, что в них находились турецкие курительные трубки, слой образовались не ранее XVI—XVII вв. Необычность полости в том, что, будучи столь молодой, она на всю высоту заполнена рыхлыми продуктами сноса, прине-

сенными, по-видимому, по трещинам с поверхности (о чем говорит и наличие вертикальных трещин, частью искусственно заложенных внизу раковинами современных морских моллюсков, а также следы склоновой слоистости толщи, в том числе с признаками почвообразования).

Но еще необычнее то, что культурные слои в основании разреза на высоте 2.6 м над уровнем моря покрыты сплошным тонким (0.2 м) слоем мелкого желтого песка, резко контрастирующего и с подстилающими культурными слоями, и с вышележащим делювиальным суглинком. Этот тонкий слой мог быть отложен только морем. О трансгрессии с подъемом воды на 2.5 м в последние столетия говорить не приходится, поэтому остается только предположить, что тонкий прослой мелкого песка возник за счет единовременной высокой волны.

По составу, размеру материала и равномерности заполнения дна этот слой вполне аналогичен накоплениям, произошедшим в результате цунами на тихоокеанских берегах, и может быть приписан именно цунами. Заметим, что на западных берегах Крыма цунами, хотя и сравнительно небольшие по высоте, отмечались неоднократно<sup>7</sup>. Таким образом логично объясняется внезапное прекращение жизни турецких поселен в этой полости и последующее заполнение ее совсем иным по составу и строению материалом (разрыхленным при сильном землетрясении).

Обратим внимание, что рассматриваемая полость находится на восточном берегу Килен-бухты, т. е. была открыта предполагае-

<sup>7</sup> Никонов А. А. Цунами Черного и Азовского морей // Природа. 1994. № 3. С. 72—77.



мой волне цунами, идущей с запада от внешней части Севастопольского залива, перед которой и размещается очаг землетрясения. Если наше предположение верно, то связывать столь сильное цунами с подъемом воды в данном месте не менее чем на 3 м, можно только с землетрясением 1650 г. Столь высокий подъем соответствует близкому расположению эпицентра, где колебания могли достигать 9 баллов. Время событий, масштаб явлений и положение источника землетрясения и возможного цунами оказываются вполне согласующимися. Поэтому мы склонны рассматривать цунами в 1650 г. как весьма вероятное и подтверждающее заключение о сильном сейсмическом событии в том же году в Севастопольском очаге.

Но если землетрясение с интенсивностью 8—9 баллов ощущалось на берегах Севастопольской бухты, то оно обязательно должно

было сильно проявиться и в районе г. Бахчисарая, богатым древними памятниками. Средневековая история последних по письменным источникам известна очень скупо, но кое-что удается выявить по археологическим данным.

Довольно показательным может быть пример крепости Чуфут-кале (Кырк-ор)<sup>8</sup>. Первый этап поселения здесь датируется еще византийским временем. В XII в. на плато был возведен дополнительный ярус мощного оборонительного сооружения — Средней оборонительной стены, которая перегородивала узкий мыс плато от одного обрыва до другого, с запад-юго-запада на восток-северо-восток. В основании стена, остатки которой были раскопаны археологами на нескольких участках, состоит

из мощных правильных каменных блоков (квадров) по 1×0.7 м, выше — из более мелких, но также тщательно подогнанных друг к другу.

Однако на крайнем западном участке, примыкающем к крутому обрыву, кладка заметно отличается. Здесь она грубее, из разных по размеру блоков, без четко выдержанных рядов. У археологов не вызывает сомнения, что на этом участке имела место поздняя реставрация стены. У обрыва она замыкается квадратной башней декоративного характера, подпертой контрфорсом на самом краю пропасти. Башня построена не ранее XVII—XVIII вв. Ясно, что этот участок оборонительной линии был перестроен тогда же (по мнению археологов — после разборки или разрушения стены до основания). Однако трудно найти причину разборки и перестройки массивного сооружения без острой необходимости. Таковой могло

<sup>8</sup> Герцен А. Г., Могаричев Ю. М. Крепость драгоценнейшей Кырк-ор (Чуфут-кале). Симферополь, 1993.

*Скальный известняковый выход близ верхней части крепости Чембало (слева). Сглаженная поверхность скалы рассечена косой трещиной с небольшим поперечным смещением. Справа приведен фрагмент скального выступа, где отчетливо видно поднятие на несколько сантиметров правого борта трещины (т. е. приморского крыла), что подтверждает ее тектонический, а не гравитационный генезис.*



быть внезапное стихийное разрушение.

Поскольку признаки обрушения обрыва плато (в позднем средневековье) на этом участке отсутствуют, то причиной перестройки стены, скорее всего, стало ее разрушение от землетрясения. Косвенно на это указывает установка при возведении башни укрепляющего контрфорса. Очень важно, что поврежден и затем перестроен был только западно-юго-западный край стены, который, естественно, наиболее уязвим для сейсмических толчков, пришедших с запад-юго-запада (т. е. от места расположения определяемого для 1650 г. очага). Чтобы разрушилось такое мощное сооружение, каким была стена, колебания на краю плато должны были достигать 8 баллов, что вполне реально на расстоянии примерно в 60 км от эпицентра, сила толчка в котором составила 9 баллов. Это предположение хорошо согласуется с независимо полученными данными из Евпатории, располагающейся примерно на том же расстоянии от предполагаемого эпицентра.

Если суммировать ставшие ныне известными прямые и косвенные сведения о землетрясении (а приведены здесь далеко не все), то неизбежен вывод, что в

середине XVII в. в западном Крыму произошло очень сильное землетрясение. В отличие от известных колебаний за последние 200—250 лет его интенсивность на крымских берегах достигала 9 баллов. Эпицентр толчка почти несомненно располагался под водами Черного моря невдалеке от Севастополя. По сравнению с основным ялтинским землетрясением 1927 г. севастопольский очаг имел, по всей вероятности, не крымское (широтное) простирание, а поперечное.

Именно поэтому сильно пострадала Евпатория (тогдашний Гезлев) и сотрясения распространились на север до Киева.

Конечно, такой силы и такого масштаба землетрясения могут возникать у Севастополя, да и вообще в Крыму, редко, не чаще одного раза в несколько столетий. Но последствия каждого подобного события в нынешних условиях несоизмеримы с теми, что имели место не только сотни лет назад, но даже и в 1927 г.

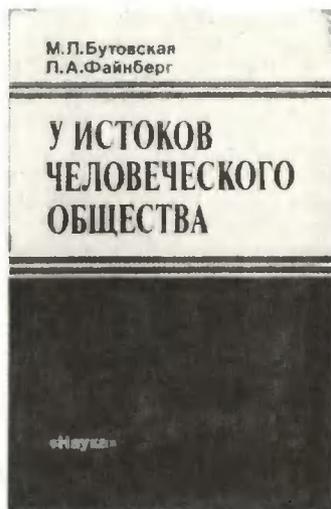
## На пересечении этологии и этнографии

А. Г. Козинцев,  
доктор исторических наук

Санкт-Петербург

ЭТА КНИГА уникальна во многих отношениях. Первый из ее авторов — этолог, в течение многих лет занимавшийся поведением обезьян, второй — этнограф (к несчастью, его уже нет в живых). Читателю, без сомнения, известно, что этология — наука о врожденных компонентах поведения, а этнография изучает народы и культуры. Подобное содружество вряд ли было бы возможно несколько лет назад, когда биология человека и его история были в нашей науке разделены высокой стеной. Тогда у нас считалось, что чем меньше человек, как существо социальное, задумывается о биологических корнях своего поведения, тем лучше. Назвать такой взгляд полностью безопасным нельзя: биологизация человеческого общества вредна тем, что перекладывает ответственность за насилие, войны и прочее с самих людей на их далеких предков. Именно по этой причине этология человека была в нашей стране практически табуирована.

Однако авторы книги — вовсе не биологизаторы. Их цель — показать, как на базе сообществ приматов возникло качественно новое явление — человеческое



М. Л. Бутовская, Л. А. Файнберг. У ИСТОКОВ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА. ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭВОЛЮЦИИ ЧЕЛОВЕКА. Отв. ред. А. И. Першиц. М.: Наука. 1993. 255 с.

общество. И хотя книги на эту тему в нашей стране уже публиковались (в частности Л. А. Файнбергом, а до него — Н. А. Тих), ничего подобного по широте охвата темы и полноте учета данных до сих пор не было. Каковы же главные итоги книги?

Прежде всего, при внимательном отношении к фактам оказывается, что можно проследить филогенетические корни не только отрицательных, но и многих положительных черт челове-

ка — таких, как альтруизм (о чем у нас уже писали П. А. Кропоткин и В. П. Эфроимсон), социальность и способность к дружбе. Впридачу к агрессивности в наследство от предков досталась нам и способность к примирению. Механизмам торможения агрессии (так называемым буферам агрессии) у обезьян посвящена отдельная глава книги. В других главах обсуждаются родственные связи в сообществах приматов, половое поведение, социальная организация, возникновение и передача традиций. Да, у наших родственников по отряду приматов существуют и традиции, причем есть основания подозревать, что от некоторых из них ведут свое происхождение механизмы культурной трансмиссии, существующие в человеческом обществе. Особенно интересна в этом аспекте практика раскалывания орехов камнями, зафиксированная у шимпанзе района Таи (Западная Африка). Самки учат этому свое потомство — так же, вероятно, поступали и наши предки.

Что касается социальной организации, то авторы приводят убедительные доказательства, что оптимальными для прогрессивной эволюции древних гоминид были не гаремы и не дисперсные сообщества, а группы, состоявшие из

самок и нескольких самцов — такие группы называют мультисамцовыми. По мнению авторов, они характеризовались сравнительно эгалитарным (мягким) стилем доминирования, т. е. низкоранговые особи пользовались здесь сравнительной свободой. Такие группы стояли на «магистральной линии эволюции» и именно они, вероятно, послужили базой, на которой возникли коллективы ранних гоминид, давшие начало человеческому обществу. Подтверждением данному взгляду служит тот факт, что в мультисамцовых группах по сравнению с прочими типами сообществ приматов социальные отношения сложнее и многообразнее, а манипуляционная активность (на основе которой, надо полагать, возник человеческий труд) более развита. Что же касается половых

отношений в сообществах ранних гоминид, то, как показывают данные приматологии, наиболее вероятной их формой была полная неупорядоченность, именуемая промискуитетом; парная семья — явление сравнительно недавнее. Если так, то, может быть, не все написанное по этому поводу Ф. Энгельсом вслед за Л. Г. Морганом подлежит сдаче в архив?

Значительное место в книге занимают реконструкции поведения ранних гоминид — австралопитеков. Один из важнейших выводов авторов состоит в том, что наши предки были формами универсальными, неспециализированными в поведенческом плане, а следовательно, могли быстро и адекватно реагировать на изменение среды обитания. К сожалению, реконструкции подобного рода —

дело чрезвычайно трудное, прямых данных сплошь и рядом не хватает, и невозможно винить авторов за то, что лакуны в эмпирической базе приходится заполнять более или менее правдоподобными теоретическими соображениями.

Книга до предела насыщена фактами из самых разных областей — этнографии, археологии, демографии, психологии, сексологии. Что же касается данных по этологии обезьян, то можно без преувеличения сказать, что перед нами маленькая энциклопедия. Из сказанного ясно, насколько широкий круг ученых — как биологов, так и гуманитариев — ею заинтересуется. Живой и понятный язык делает книгу доступной и для неспециалистов. Беда лишь в том, что тираж смехотворен — 600 экземпляров...

## ДОРОГИЕ ЧИТАТЕЛИ!

Просим вас ответить на несколько вопросов. Возможно, эта информация подскажет, как сделать наш журнал более интересным и доступным для вас в финансовом отношении.

### 1. Как вы знакомитесь с журналом?

Получаю по подписке \_\_\_\_\_

(укажите количество лет)

Читаю в библиотеке \_\_\_\_\_

(укажите: городской, сельской, институтской или иной)

### 2. Не было ли у вас затруднений при подписке?

Не было \_\_\_\_\_

На почте не выдавали каталог \_\_\_\_\_

В каталоге не было журнала "Природа" \_\_\_\_\_

3. Несмотря на происходящие перемены, "Природа" сохраняет верность своим традициям, но при этом мы все время ведем поиск нового. Что, с вашей точки зрения, должно быть в журнале изменено, чтобы он больше соответствовал времени? \_\_\_\_\_

Благодарим вас за ответы и просим сообщить некоторые сведения о себе:

Место работы \_\_\_\_\_

Образование \_\_\_\_\_

Профессия \_\_\_\_\_

## Космические исследования

**Запуски космических аппаратов в России: июль—декабрь 1994 г.**

В июле — декабре 1994 г. космическими службами России с космодромов «Байконур» и «Плесецк» запущены 39 космических аппаратов, в том числе 24 спутника серии «Космос».

Спутники серии «Космос» — номера 2287, 2289, 2294, 2295 и 2296 — предназначены для продолжения отработки элементов и аппаратуры глобальной космической навигационной системы «Глонасс», которая создается с целью обеспечить определение местонахождения самолетов гражданской авиации и судов морского и рыболовного флотов РФ. Остальные номера спутников «Космос» запущены в интересах Министерства обороны РФ.

Транспортный космический корабль «Союз ТМ-19» доставил на орбитальный научно-исследовательский комплекс «Мир» экипаж 16-й длительной экспедиции в составе Ю. И. Маленченко (командир экипажа) и Т. А. Мусабаява (бортинженер, Республика Казахстан). 9 июля 1994 г. члены экипажа 15-й длительной экспедиции — космонавты В. М. Афанасьев и Ю. В. Усачев — вернулись на Землю: спускаемый аппарат космического корабля «Союз ТМ-18» в 14 час 32 мин 35 сек по московскому времени совершил мягкую посадку в

расчетной точке на территории Казахстана; продолжительность этой экспедиции составила 182 сут 0 час 27 мин. Врач В. В. Поляков, стартовавший в космос 8 января 1994 г., продолжал работать на станции «Мир» в составе 16-й, а затем и 17-й длительных экспедиций.

4 октября 1994 г. в 1 час 42 мин 30 сек по московскому времени с космодрома «Байконур» был запущен транспортный космический корабль «Союз ТМ-20», который доставил на орбитальный комплекс «Мир» экипаж 17-й длительной экспедиции: летчика-космонавта А. С. Викторенко (командир экипажа), бортинженера Е. В. Кондакову и космонавта-исследователя У. Мербольда (Европейское космическое агентство). В задачу Мербольда, гражданина ФРГ, до этого совершившего два полета в космос на американских «шаттлах», входило проведение научных исследований и экспериментов, подготовленных учеными и специалистами стран — участниц Европейского космического агентства.

4 ноября 1994 г. члены 16-й длительной экспедиции — космонавты Маленченко и Мусабаяв вместе с Мербольдом вернулись на Землю: спускаемый аппарат космического корабля «Союз ТМ-19» в 14 час 18 мин московского времени приземлился в 79 км от г. Аркалыка (Казахстан). Длительность 16-й экспедиции на «Мире» составила 125 сут 22 час 53 мин;

продолжительность космического полета Мербольда — 31 сут 12 час 35 мин 30 сек. Космонавты 17-й длительной экспедиции Викторенко, Кондакова и Поляков вернулись на Землю 22 марта 1995 г.

Грузовые транспортные корабли «Прогресс М-24» и «Прогресс М-25» доставили на орбитальный комплекс «Мир» топливо для объединенной двигательной установки станции, воду и другие расходные материалы, а также аппаратуру и оборудование.

Очередные спутники связи «Молния-1» и «Молния-3» предназначены для обеспечения эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи программ телевидения из Москвы на пункты сети «Орбита»; спутник «Радуга», выведенный на близкую к стационарной околоземную орбиту, тоже несет бортовую аппаратуру для телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи телевизионных программ.

Спутник «Экспресс», выведенный на близкую к стационарной орбите, обеспечивает магистральную, зонную и местную телефонную и телеграфную радиосвязь, трансляцию программ радио и телевидения, передачу данных в интересах различных отраслей народного хозяйства и ведомств РФ; он предназначен также для расширения возможностей международных систем связи.

Спутник «Луч» оборудован аппаратурой для связи с орбитальным комплексом

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Союз ТМ-19»	1.VII	200	220	51.6	88.5
«Космос-2282»	7.VII	36125	36125	2.4	1449
«Надежда»	14.VII	970	1018	82.9	104.7
«Космос-2283»	20.VII	179	356	67.1	89.5
«Космос-2284»	29.VII	206	296	70.4	89.2
«Космос-2285»	2.VIII	993	1025	74	105
«Космос-2286»	5.VIII	613	39400	62.8	708
«Космос-2287 — 2289»*	11.VIII	19138	19138	64.7	676
«Молния-3»	23.VIII	630	39937	62.9	701
«Прогресс М-24»	25.VIII	192	238	51.6	88.5
«Космос-2290»	26.VIII	220	315	64.8	89.6
«Космос-2291»	21.IX	35858	35858	1.5	1440
«Космос-2292»	27.IX	408	1973	82.6	108.6
«Союз ТМ-20»	4.X	199	247	51.6	88.7
«Океан-01»	11.X	649	679	82.5	97.7
«Экспресс»	13.X	35812	35812	0.2	1437
«Электро»	31.X	35894	35894	1.3	1441
«Космос-2293»	2.XI	412	436	65	92.7
«Ресурс-01»	4.XI	664	691	98	98
«Прогресс М-25»	11.XI	190	257	51.6	88.7
«Космос-2294 — 2296»*	20.XI	19110	19110	64.8	674
«Космос-2297»	24.XI	851	879	71	102
«Гео-ИК»	29.XI	1497	1539	73.6	116
«Молния-1»	14.XII	462	39155	62	702
«Луч»	16.XII	35708	35708	2.5	1432
«Космос-2298»	20.XII	788	824	74	101
«Радио-Росто»	26.XII	1885	2165	64.6	128
«Космос-2299 — 2304»**	27.XII	1412	1442	82.6	114.2
«Радуга»	28.XII	35923	35923	1.4	1443
«Космос-2305»	29.XII	189	306	65	89

Примечания. \* Спутники «Космос-2287—2289» (аналогично «Космос-2294—2296») запущены одной ракетой-носителем «Протон».

\*\* Шесть спутников «Космос-2299—2304» запущены одной ракетой-носителем «Циклон-3».

«Мир», организации связи при чрезвычайных обстоятельствах и передачи ТВ-информации; планируется использование этого космического аппарата и в интересах МО РФ.

Для обеспечения радиолобительской связи предназначен спутник «Радио-Росто».

На борту «Надежды» установлена аппаратура навигационной системы, позволяющая определять мес-

тонахождение судов морского и рыболовного флотов РФ, а также аппаратура для работы в составе Международной космической системы поиска и спасения судов и самолетов, терпящих бедствие (КОСПАС — SARCAT).

Основная задача спутника «Океан-01» — получение оперативной океанографической информации и данных о ледовой обстановке в интересах различных

отраслей народного хозяйства РФ и международного сотрудничества.

На спутнике «Ресурс-01», запущенном на солнечно-синхронную орбиту, установлена аппаратура для проведения разномасштабной многозональной и спектрозональной фотосъемки с целью продолжения исследований природных ресурсов Земли и решения задач экологии.

Спутник «Гео-ИК» снаб-

жен аппаратурой для получения геодезических данных в интересах народного хозяйства и МО РФ.

«Электро» является первым российским геостационарным метеорологическим спутником для получения различной оперативной метеоинформации.

Перечисленные выше спутники были запущены с помощью ракет-носителей «Космос», «Союз», «Молния», «Зенит», «Циклон», «Протон».

Таким образом, всего в 1994 г. космическими службами РФ было запущено 64 космических объекта, в том числе три пилотируемых космических корабля «Союз ТМ», пять автоматических грузовых кораблей «Прогресс М», 38 спутников серии «Космос», девять спутников связи «Молния», «Горизонт», «Радуга», «Галс», «Экспресс», «Луч», два метеорологических спутника «Метеор-3» и «Электро», а также научно-исследовательские спутники «Корона-И», «Гео-ИК», «Океан-01», «Ресурс-01», «Фотон», навигационный спутник «Надежда» и радиоловительский спутник «Радио-Росто».

© С. А. Ньюкин  
Москва

Астрономия

## Знакомство с Идой продолжается

Как уже сообщалось, 28 августа 1993 г. автоматическая межпланетная станция «Галилей» прошла в непосредственной близости от астероида 243 Ида, при этом было сделано замечательное открытие: Ида обладает собственным спутником, чего до сих пор



*Монтаж последовательных фотографий системы Ида — Дактиль, соединенных так, что Дактиль перемещается по прямой линии. Положения отдельных кратеров на Иде позволяют проследить за ее вращением. Самый ближайший снимок сделан с расстояния 11 тыс. км.*

никогда не приходилось наблюдать у астероидов<sup>1</sup>. Спутнику было дано название Дактиль.

С сентября 1993 г. «Галилей» продвигается к Юпитеру, но обработка поступивших с задержкой

в связи с неисправностью его антенны новых изображений и данных продолжает предоставлять астрономам сенсационные известия.

В августе 1994 г. НАСА получило чрезвычайно подробный фотоснимок Дактиля, позволяющий различить на нем детали поперечником от 50 м. Как показала обработка этого снимка М. Дж. С. Белтоном (М. J. S. Belton; Китт-Пикская национальная обсерватория, Тусон, штат Аризона, США), на поверхности Дактиля имеется 12 кратеров, диаметр которых превышает 80 м, что совсем немало для тела размером чуть более 1 км. Этот факт свидетельствует, что «луна» Иды многократно подвергалась бомбардировке обломками небесных

<sup>1</sup> См.: Изучается астероид Ида // Природа. 1994. № 10. С. 112—113; У астероида — своя «луна» // Природа. 1995. № 1. С. 116; Откуда у Иды спутник? // Природа. 1995. № 2. С. 115—116.

тел. По-видимому, возраст Дактиля не превышает нескольких сот миллионов лет — более древний объект, скорее всего, был бы уже давно разрушен такими столкновениями.

Среди специалистов возникли дебаты: является ли Дактиль «дочерью» или «сестрой» Иды. Планетолог К. Р. Чепмен (С. R. Chapman; Институт планетарных наук, Тусон, США) поддерживает последнюю точку зрения. Ида входит в состав астероидов семейства Коронида, которые образовались, очевидно, при столкновении более крупного родительского тела с неким небесным объектом, раздробившим его на сотни обломков. В таком случае Дактиль представляет собой один из таких сестринских тел.

Первые снимки Иды показывали, что одна ее сторона имеет сравнительно мало пересеченную поверхность. Затем с «Галилея» был сфотографирован и другой бок Иды: оказалось, что эта сторона имеет пересеченный рельеф и почти половину ее поверхности занимает большая депрессия шириной 25—30 км. Полагают, что это либо крупный кратер, либо результат «сборного» — фрагментарного — строения Иды. По данным приборов «Галилея», цвет и строение поверхности астероида от места к месту меняются. Возможно, это и есть следствие соединения различных пород, вошедших некогда в структуру Иды. Эти различия, по мнению Чепмена, находятся в пределах нормы для малых планет типа S (к числу которых принадлежит и Ида) и могли быть обусловлены бомбардировкой метеоритами или воздействием сол-

нечного ветра — потоком заряженных частиц.

Недавно группа американских планетологов (M. J. S. Belton et al) по серии фотографий с «Галилея» определила элементы орбиты Дактиля вокруг Иды, что позволило вычислить ее массу —  $(4.2 \pm 0.6) \cdot 10^{16}$  кг — и установить ее среднюю плотность —  $2.6 \pm 0.5$  г/см<sup>3</sup>. Поскольку Ида — астероид типа S (т. е., как полагают, железокаменный), такая величина плотности представляется слишком низкой. Отсюда авторы делают вывод, что вещество этого астероида имеет высокую пористость.

Nature. 1995. V. 374. № 6525. P. 785—788; New Scientist. 1994. V. 144. № 1957/1958. P. 17 (Великобритания).

#### Астрономия

### Орбиты небесных тел и будущее Солнечной системы

Новая методика, разработанная Ж. Ласкаром (J. Laskar; Бюро долгот, Париж), позволила усовершенствовать процесс вычисления орбит планет и других небесных тел и охватить при этом период продолжительностью до 15 млн. лет.

На основе своих вычислений Ласкар прогнозирует вероятность перехода Меркурия на столь вытянутую орбиту, которая приведет его к опасной близости с Венерой, в результате чего может произойти либо их столкновение, либо «выброс» Меркурия за пределы Солнечной системы.

Исследователь подчеркивает, что Юпитер и другие планеты-гиганты отличаются стабильностью орбит,

тогда как внутренним планетам присущ в различной степени хаотизм движения. Причем Марс и Меркурий подвержены еще значительно большему отклонению от «нормальных» орбит, чем Земля и Венера. Причина, видимо, состоит в том, что малые внутренние планеты не могут своим тяготением так же сильно влиять на гигантов, как те на них.

Для человечества весьма существенно то, что при меньшей упорядоченности орбит Юпитера, Сатурна и Нептуна движения планет земной группы стали бы настолько хаотичными, что на Земле не мог бы установиться хоть в какой-то степени постоянный климат, позволяющий адаптироваться живым организмам.

Что касается самых малых членов Солнечной системы — астероидов, то их орбиты подвержены переменам за совсем короткие промежутки времени. Занявшиеся этой проблемой итальянские астрономы А. Милани и П. Фаринелла (A. Milani, P. Farinella; Пизанский университет) указывают, что изучение хаотических изменений орбит позволяет определить время, когда складывались семейства астероидов. Сегодня известно более 20 подобных семейств. Они представляют собой группы объектов, возникших при разрушении более крупного астероида в результате его столкновения с иным телом. Хотя обломки быстро рассеиваются в пространстве, они все же имеют тенденцию сохранять определенные характеристики общей орбиты, отличающие их от других подобных групп. Тем не менее параметры орбиты того или иного обломка временами могут изменяться в такой степени, что он совсем покидает свое се-

мейство. Определив вероятность подобного события, ученые в состоянии оценить возраст всего семейства.

Свою методику Милани и Фаринелла применили к изучению семейства Веритас — особенно плотного скопления обломков, находящегося вблизи орбиты Юпитера, — с целью установить, как орбитальные характеристики двух членов этого семейства (включая и крупнейший из них — 490 Веритас) могут измениться в течение ближайших миллионов лет. Оказалось, что примерно через 50 млн. лет они могут выйти за пределы своего семейства. Кроме того, установлено, что возраст данного семейства астероидов не превышает 50 млн. лет.

Nature. 1994. V. 370. № 6484. P. 40 (Великобритания); Science News. 1994. V. 146. № 3. P. 39 (США).

#### Физика атмосферы

### Загадочные радиовсплески в атмосфере

В апреле 1993 г. на орбиту вышел американский искусственный спутник Земли "Alexis"; в соответствии с планами Министерства энергетики США, отвечающего за создание и испытание атомного оружия, он предназначен для обнаружения возможных взрывов ядерных устройств в атмосфере. Запуск был не вполне удачным, и лишь спустя 1.5 мес. спутник приступил к выполнению команд, подаваемых Центром управления.

С июля 1993 г. установленное на его борту радиоприемное устройство "Black-beard" начало регистриро-

вать необычные электромагнитные пульсации, похожие на те, что возникают при наземных ядерных испытаниях. Однако большинство их число (более сотни пар за короткий период) и место происхождения (главным образом Африка и южный район Тихого океана) указывали на то, что их источником является скорее природный процесс, а не эксперименты, проводимые людьми.

Эти всплески продолжительностью по 4 мкс охватывали широкий диапазон радиочастот и объединялись в пары, разделенные промежутком не более 100 мкс. По мнению радиофизика Д.Холдена (D.Holden; Лос-Аламосская национальная лаборатория, штат Нью-Мексико, США), они связаны с электрической активностью атмосферы. Наиболее часто они возникают в 3 час. и 17 час. по местному времени, т.е. в период, на который приходится большинство гроз. С другой стороны, распределение их частот отличается от того, которое свойственно обычным молниевым разрядам.

Происхождение пульсаций может быть того же порядка, что и у открытых в 1993 г. электромагнитных всплесков над грозовыми тучами. Последние можно регистрировать из космоса зрительно, и ученые надеются сопоставить получаемые ныне радиоданные с визуальными наблюдениями с борта "Шаттла" — корабля многоразового использования.

Каждая вторая из пар пульсаций точно повторяет предыдущую. По-видимому, она возникает как отражение энергии первой от гладких поверхностей акватории или суши. Поскольку интервал между ними составляет 100 мкс,

можно предположить, что явление происходит на высоте около 15 км над земной поверхностью. Изучение этого еще во многом загадочного явления продолжается.

New Scientist. 1994. V.141. № 1914. P.7 (Великобритания).

#### Информатика

### Искусственная сетчатка — быстрые универсальные процессоры обработки изображения

Распознавание и восприятие изображений реального мира — одна из наиболее важных технологических задач XXI в. В существующих системах эти процессы разделены: образы воспринимаются камерой, а обрабатываются компьютером, в то время как человеческий глаз может выполнять самые различные задачи в реальном времени.

Коллектив исследователей (К. Kuyma et al.; Mitsubishi Electric Corporation, Амагасаки, Япония) продолжает попытки усовершенствовать приборы RETINA, имитирующие сетчатку человеческого глаза, с тем чтобы они совмещали процессы восприятия и обработки образов. Созданные этой группой приборы характеризуются большой функциональной гибкостью и высоким быстродействием.

Искусственная сетчатка RETINA2 состоит из двумерных матриц фотодетекторов с изменяемой чувствительностью. Общее число матриц 128×128, а раз-

мер каждой матрицы 80x80 мм<sup>2</sup>. Матрица состоит из трех приборов: фотодетектора, пространственного модулятора света и аналоговой памяти. Обработка изображения основана на оптическом умножении матрицы на вектор.

Систему отличает разнообразие видов обработки информации: восприятие изображения, подобное TV-камере; выделение контуров; фурье-преобразование; сжатие/распознавание образа и др.

Новая система имеет самое широкое применение: это автомобильные и авиационные датчики, промышленная система управления и робототехника, видеокамеры и системы защиты. Особый интерес представляет использование RETINA2 в автомобилях для предотвращения столкновений с препятствиями и транспортными средствами.

Дальнейшее развитие этого направления авторы связывают с построением системы RETINA3, которая должна выполнять более сложные функции, чем RETINA2. Предполагается, например, осуществлять такие операции, как сложение и вычитание изображений, слежение за движущимся объектом в реальном времени и др.

Nature. 1994. V. 372. № 6502. P. 197 (Великобритания).

Молекулярная биология

## Как лазер воздействует на ДНК

Поиски способов направленного воздействия на геном клетки привели специалистов к использованию лазеров. Разрезание молекулы ДНК с помощью лазерного луча теоретиче-

ски было разработано М. С. Штокманом еще в 1984 г. Мутагенный эффект лазерного излучения реализуется путем передачи энергии от донора к акцептору (акцептором служит ДНК, а донором — хромофор, т. е. группа атомов, придающая органическому веществу окраску); под действием лазерного излучения хромофор возбуждается, энергия передается на связанный с ним участок ДНК, где и происходит разрыв ее цепей.

А. И. Драган и С. Н. Храпунов (Киевский государственный университет, Украина) изучили повреждающее действие импульсного лазерного излучения (337 нм) на структуру кольцевой плазмидной (нехромосомной) ДНК рВР322. Авторы проанализировали частоту возникающих разрывов этой ДНК в присутствии двух разных хромофоров: бромистого этидия, который способен встраиваться в молекулу ДНК, и рибофлавина (витамина В<sub>2</sub>) — природного компонента клетки, не обладающего такой способностью.

Оказалось, что эффективность мутагенного действия лазерного излучения (определенная по частоте одностранных разрывов ДНК) в присутствии рибофлавина была даже в несколько раз выше, чем в присутствии бромистого этидия. Флавиновый хромофор в возбужденном состоянии захватывает электрон и восстанавливается; за счет переноса заряда образуется его комплекс с азотистыми основаниями ДНК (пуринами и пиримидинами). По мнению авторов, при переносе двухквантового возбуждения на фосфодизфирные связи и азотистые основания одна из цепей ДНК разрывается.

Лазерное излучение

может вызывать в объектах как линейно, так и нелинейно зависящие от плотности излучения эффекты. В присутствии рибофлавина и бромистого этидия в среде лазера на структуру ДНК обусловлено нелинейным (двухквантовым) процессом поглощения энергии. Следует отметить, что само по себе лазерное излучение (при частоте импульсов 100 Гц, длительности 10 нс и энергии 30 мкДж) в отсутствие хромофоров не повреждало ДНК.

Авторы полагают, что в основе мутагенного действия лазерного излучения на генетический материал лежит фотодинамический нелинейный эффект, а не ковалентное повреждение продуктами фотохимических реакций.

Молекулярная биология. 1994. Т. 28. Вып. 2. С. 355—361 (Россия).

Молекулярная биология.  
Генетика

## Молекулярно - генетическое исследование болезни Вильсона — Коновалова

Картирование наследственных болезней и изучение характера мутаций чрезвычайно важно не только в плане фундаментальных исследований — для построения карты генома человека, но и в практическом отношении, ибо позволяет проводить раннюю диагностику (в том числе и пренатальную), необходимую для правильного лечения и профилактики.

Болезнь Вильсона — Коновалова — это патология с аутосомнорецессивным наследованием, которая характеризуется нарушением медно-белкового обмена,

вызывающего поражение внутренних органов и мозга человека.

С целью изучения этой болезни, которое ведется в рамках проекта «Геном человека», в Научно-исследовательском институте неврологии РАМН и Институте молекулярной генетики РАМН создана коллекция образцов ДНК больных и членов их семей. Всего представлено 22 семьи из пяти регионов (России, Украины, Белоруссии, Узбекистана и Казахстана), для которых собран подробный семейный анамнез и составлены родословные.

Несмотря на клинический полиморфизм, характерный для болезни Вильсона — Коновалова, диагноз точно установлен во всех семьях и подтвержден лабораторными тестами. В большинстве семей проведена косвенная ДНК-диагностика, которая позволила выявить двух больных в доклинической стадии.

Правильно подобранные репрезентативные семьи из разных этнических групп с достоверным диагнозом дали обширный материал для изучения микросателлитных повторов, расположенных около гена болезни Вильсона — Коновалова, а также внесли существенный вклад в молекулярно-генетические работы по клонированию генов.

Первый (Третий) Российский съезд медицинских генетиков. Тезисы докладов. М., 1994. Ч. I. С. 47.

Медицина

## Почему некоторые люди не растут!

Малый рост, мелкие черты лица, вдавленная переносица, ожирение, вы-

сокий голос, голубая склера глаз — все эти признаки, характерные для заболевания, ранее обозначавшегося термином «карлик» или «карликовость», впервые описали З. Ларон и его коллеги в 1966 г.<sup>1</sup>; позднее оно получило название «синдром Ларона». Больше всего больных с таким синдромом проживает в Израиле и Эквадоре, что, по-видимому, связано с широко распространенными там кровно-родственными браками.

Новорожденный ребенок с синдромом Ларона обычно мало чем отличается от нормальных детей, хотя некоторые эквадорские родители сразу же распознают этот недуг по измеченным чертам лица, скудному оволосению, недоразвитию ногтей, уменьшенным размерам рук и ног. У больных детей часто бывает врожденный вывих бедра, они медленно растут и позже начинают ходить, с опозданием у них прорезаются зубы, риск смерти вдвое выше<sup>2</sup>.

Естественно было бы ожидать, что появление этого синдрома связано с недостатком гормона роста в организме. В действительности же оказалось, что его уровень в сыворотке крови взрослых больных, рост которых не превышает, как правило, 110—130 см, не отличается от нормы, а то и увеличен. Более того, выделенный из

их крови гормон роста и функционирует нормально. Это дало основание предположить, что причиной заболевания служит какой-то дефект рецепторов к гормону<sup>3</sup>.

В 1984 г. Ларон с сотрудниками получили первые прямые доказательства недостаточности этих рецепторов: клетки печени больных совсем не связывали радиоактивный гормон, в то время как у здоровых людей его акцептировали 8—24% клеток. Вскоре было обнаружено, что структура клеточных рецепторов к гормону роста идентична специфическому белку, циркулирующему в крови. У большинства больных в сыворотке крови этот специфический белок либо присутствует в сниженных количествах, либо его вовсе нет, что и приводит к появлению «некомплектных» рецепторов.

Несмотря на редкую встречаемость этого заболевания, выяснилось, что лежащие в его основе генетические нарушения весьма разнообразны. Например, в гене рецептора могут быть выявлены замена единичного нуклеотида, выпадение разных групп нуклеотидов или мутация 180-го кодона, приводящая к тому, что в молекуле рецептора недосчитывается восемь аминокислот.

Кроме гормона роста в сыворотке крови здоровых людей обнаружен еще один стимулятор — инсулиноподобный ростовой фактор 1 (ИРФ-1). Оказалось, что его концентрация в крови больных с синдромом Ларона

<sup>1</sup> Laron Z., Pertzalan A., Marmheimer S. *Isr. J. Med. Sci.* 1966. V. 2. P. 152—155.

<sup>2</sup> Розенблум А., Сзвэдж М., Блум У. и др. Клиническая и биохимическая характеристики недостаточности рецепторов к гормону роста (синдром Ларона) // Пробл. эндокринологии. 1994. Т. 40. № 2. С. 74—77.

<sup>3</sup> Розенблум А. Хроника изучения недостаточности рецепторов к гормону роста (синдром Ларона) // Там же. С. 71—74.

резко снижена. Очевидно, повышая ее, можно ожидать ускорения роста. Возможность лечения карликовости с помощью ИРФ-1 появилась благодаря разработке в 1983 г. технологии получения его терапевтических количеств методом клонирования соответствующего гена человека.

Одна из таких попыток была предпринята специалистами шведской фирмы «Кэби фармация» в Стокгольме<sup>4</sup>. Они провели лечение 27 больных в возрасте от 4 до 23 лет с помощью рекомбинантного человеческого ИРФ-1: через 12 месяцев у всех, кроме двух самых старших больных, темпы роста увеличились более чем на 2 см в год. Однако имели место и некоторые побочные эффекты. Тем не менее, попытки такого лечения являются, по мнению А. Розенблума, не только единственной надеждой 60 выявленных во всем мире детей с этим синдромом, но и создает перспективы коррекции нарушений у взрослых больных.

© М. С. Покровская,  
кандидат биологических наук  
Москва

Биология

## Еще один колониальный паук

Общественные (колониальные) пауки встречаются довольно редко, главным

образом среди тех, кто строит паутину: так удобнее совместно охотиться и обмениваться вибрационными сигналами.

Распространенное по всему свету семейство пауков-рысей (*Oxyopidae*) включает в основном свободноживущие, бродячие формы, но в тропиках обитает несколько видов, которые плетут ловчую сеть-гнездо. До сих пор склонность к совместному проживанию у оксипид не была отмечена.

Американская исследовательница Л. Авилес, работающая в Музее сравнительной зоологии Гарвардского университета (США), обнаружила в Эквадоре колонию оксипид рода *Tariniillus*, плетущих сеть<sup>1</sup>.

Сеть-гнездо тапиниллюса (представляющее собой трехмерную структуру) обволакивает верхушку одной или нескольких ветвей кустарника, включая листья. Такое «общеежитие» могут населять несколько десятков и даже сотен пауков, как взрослых, так и неполовозрелых. Молодые особи и яйцевые коконы располагаются в глубине гнезда. По-видимому, колонии существуют многие годы. Пауки вместе охотятся (особенно на крупную добычу) и вместе поедают ее. Интересно, что пауки проявляют терпимость не только к жителям своего гнезда, но, как показано в эксперименте, и к особям того же вида из других гнезд. Действительно, одно из главных условий возникновения социальности у пауков — прояв-

ление взаимной терпимости<sup>2</sup>. Между собой пауки регулярно общаются, касаясь друг друга ногами.

В отличие от большинства других колониальных пауков количество самок у тапиниллюсов не превышает количества самцов. Сдвиг соотношения в сторону самок принято объяснять стремлением избежать инбридинга<sup>3</sup>. Хотя уровень инбридинга у социальных пауков все равно должен быть очень высок. Авилес предполагает, что самцы тапиниллюсов способны мигрировать между колониями.

Пример с пауками оксипидами показывает, что сама способность к построению сети повышает вероятность проявления социальности у пауков.

© К. Г. Михайлов,  
кандидат биологических наук  
Москва

Биология

## Комменсализм у рыб

Все живые организмы в природе взаимосвязаны. Это все знают. Однако стоит начать исследование таких взаимоотношений, как наталкиваешься на бесконечную сложность проблемы: сколько компонентов брать и как оценить участие в системе каждого из них?

<sup>2</sup> Krafft B., Horel A., Aron S. From solitary spiders to spider societies // Les insectes sociaux: 12 Congr. de l'Union Intern. pour l'Etude des Insectes Sociaux (Paris, Sorbonne, 21—27 Août 1994). Paris. 1994. P. 132.

<sup>3</sup> Avilés L. Population level consequences of cooperation and permanent-sociality in spiders // *ibidem*. P. 131.

<sup>4</sup> Уилтон П. Терапия рекомбинантным человеческим инсулиноподобным ростовым фактором I у детей с недостаточностью рецепторов к гормону роста (синдром Ларона) // Там же. С. 78—82.

<sup>1</sup> Avilés L. Social behavior in a web-building lynx spider. *Tariniillus* sp. // *Biol. J. of the Linnean Society*. 1994. V. 52. № 2. P. 163—176.

Но ведь что такое сложность? Это — подробная простота. Проще всего исследовать взаимовлияние систем (скажем, популяций) попарно. Любые две популяции могут влиять или не влиять друг на друга. Если влияние есть, оно может быть благоприятным или неблагоприятным. Среди всех разнообразных форм взаимоотношений наше внимание привлеч комменсализм.

Комменсализмом называют форму сотрудничества между популяциями разных видов, в которой лишь одна получает выгоду, другая же остается индифферентной. Считается, что эта форма взаимоотношений мало распространена среди рыб. В учебниках ее иллюстрируют обычно единственным примером сожительства рыбы-прилипала с акулами или черепахами. На самом же деле таких примеров много. Проиллюстрируем это на нескольких случаях комменсализма у рыб Каспия.

К подобной форме отношений можно отнести связь европейского сома с большим бакланом. Обычно бакланы заглатывают зараз более 1 кг рыбы. С таким пищевым комком они не способны взлететь. Поэтому всплунутый баклан вынужден ради взлета отрывать пищу, которую сразу же заглатывают сомы. Обычно у бакланьих колоний наблюдаются скопления крупных сомов (до нескольких сот особей): сом старается сэкономить энергию, и такой способ питания для него предпочтителен.

Другой пример комменсализма мы наблюдаем у крупного промыслового бычка головача по отношению к длиннопалому раку. Раки выкапывают норы для укрытия. В отсутствие хозяев эти норы занимают бычки, которые не только

укрываются в них, но и откладывают там икру и охраняют потомство.

В Северном Каспии стаи кефалей иногда сопровождаются крупной воблой. Питаются кефали детритом, ради чего взмучивают донные осадки, а с ними — и крупный зообентос. Этим пользуется вобла, упрощая себе добычу корма. При этом вобла быстрее растет и достигает большей массы по сравнению с особями из одновидовой стаи, не сопровождающимися кефалью.

Иной пример: на открытых пространствах Северного Каспия стаи уклей внедряются в стаи воблы, питаются ненужным ей зоопланктоном и используя ее как более крупную рыбу для прикрытия от хищников — в таких совместных стаях хищники (тюлень, осетровые) выедают преимущественно воблу. Но, с другой стороны, питающаяся данными животными вобла распухает придонный зоопланктон, который поднимается в более высокие слои, улучшая кормовые условия уклей.

Полученные сведения можно применить в рыбопромысловой разведке. Например, крупных сомов следует ловить в районе массовой кормежки бакланов. Бычка головача нужно искать в районе обитания длиннопалого рака или наоборот. Стаю кефалей в море далеко видно: они любят выпрыгивать из воды, а это возможный признак присутствия крупной воблы. Кормящиеся тюлени в море также могут свидетельствовать о скоплениях воблы, но это уже не комменсализм.

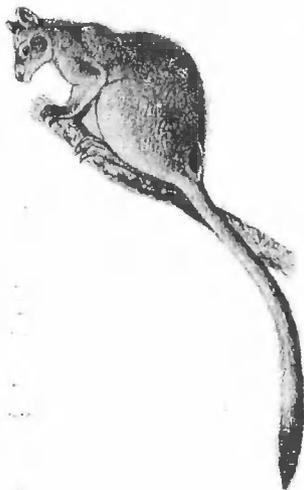
## Зоология

### Древесный кенгуру бондегузу спускается на землю!

Жители лесной зоны индонезийской провинции Западный Ириан (о. Новая Гвинея) хорошо знакомы с крупным черно-белым кенгуру, который может как лазать по деревьям, так и передвигаться по земле. На языке местного племени дани его называют бондегузу; соседнее племя мони почитает его как родового предка и покровителя и в пищу, в отличие от дани, не употребляет. Научного имени он пока не имеет, так как среди специалистов его существование до сих пор подвергалось сомнению.

По данным палеонтологов, все кенгуру первоначально вели древесный образ жизни. Но около 50 млн. лет назад климат в Австралии и на окружающих островах стал более засушливым, и кенгуру были вынуждены спуститься на открытые пространства в поисках пищи. Постепенно эти животные утрачивали анатомическую приспособленность к жизни среди ветвей: противостоящий остальным большой палец изменил свою форму так, чтобы удобнее было ступать по земле; появился передний отдел желудка, облегчающий переваривание жесткой травянистой пищи.

Однако по прошествии примерно 45 млн. лет кенгуру одного из родов — *Dendrolagus* — вернулись в джунгли и стали предками тех девяти видов древесных кенгуру, которые и были до сих пор известны специалистам. Но вот летом 1994 г. участникам австра-



Один из представителей древесных кенгуру — *Dendrolagus spidix*.

по-индонезийской зоологической экспедиции, работавшей на склонах горы Маокоп в Западном Ириане под руководством Т. Фланнери (Т. Флаппегу; Австралийский музей, Сидней), повезло, наконец, встретиться с представителями десятого вида древесного кенгуру — бондегезу. Сначала они натолкнулись на труп истерзанного охотничьими собаками кенгуру, но прежде чем охотники его зажарили, ученые успели ознакомиться с его анатомическими особенностями. Его рост был 1.2 м, а масса почти достигала 15 кг. Когда же им удалось изловить живого представителя этого вида, ученые окончательно установили, что все лапы у бондегезу одинаковой длины, а ступни плоские, что удобно для передвижения по деревьям. По строению черепа и конечностей он оказался ближе к древесным видам кенгуру, чем к наземным сородичам. Однако, по наблюдениям местных жителей, бондеге-

зу довольно плохо карабкается по ветвям; он спускается с дерева хвостом вниз и большую часть времени проводит на земле. К тому же его хвост недостаточно длинен для поддержания равновесия при дальних прыжках.

Таким образом, бондегезу совмещает черты, присущие как древолазам, так и наземным обитателям. Выявляемые особенности его строения могут либо поставить его на место недостающего звена в эволюционной цепочке сумчатых, либо еще больше запутать и без того достаточно туманную классификацию этих животных.

Находка нового для науки млекопитающего в наше время — немалая редкость. Фланнери полагает, однако, что в почти безлюдных горных районах Новой Гвинеи бондегезу водятся в изобилии. Он намерен в ближайшее время организовать еще одну экспедицию, чтобы в деталях изучить образ жизни и поведение «новичка».

New Scientist. 1994. V. 143. № 1937. P. 8 (Великобритания).

#### Ботаника

### С потеплением растения поднимаются в горы

Специалисты отмечают, что даже умеренное потепление климата приводит к миграции горной растительности вверх по склонам и этот процесс уже начался.

Австрийские ботаники во главе с Г. Грабхером (G. Grabherr; Венский университет) провели «перепись» цветковых растений, произрастающих на склонах Альп в западной части

Австрии и на востоке Швейцарии. Были обследованы 26 горных вершин на высоте 3 тыс. м и выше. Полученные данные они сопоставили с результатами подобных работ, проведенных в начале и середине текущего века. Как прежде, так и теперь разнообразие видов с увеличением высоты снижается по экспоненте. При этом, однако, оказалось, что за последние десятилетия заметно возросло разнообразие горной флоры на высотах около 3 тыс. м, что связано с наметившейся тенденцией перемещения вверх по склонам растений альпийской и нивальной (снежной) зон.

Проанализировав итоги 12 тщательных исследований, выполненных более чем за 90 лет, авторы вычислили, что девять наиболее типичных для нивальной зоны видов совершают «восхождение» со скоростью от 1 до 4 м в десятилетие. По метеоданным среднегодовая температура в этом районе увеличилась с начала века на 0.7°C. Учитывая, что с подъемом в гору температура воздуха понижается в среднем на 0.5°C, ботаники могли ожидать, что при существующем потеплении климата скорость подъема растительных поясов увеличится до 8—10 м за десятилетие. Однако в действительности этого не наблюдается и причина тому пока не ясна.

Ученые опасаются, что в случае дальнейшего глобального потепления некоторым горным растениям грозит катастрофическое вымирание, поскольку им уже некуда будет подниматься.

Nature. 1994. V. 369. № 6480. P. 448 (Великобритания).

## Геология

**Самый «юный» из алмазов**

Геологам известно, что алмазы образуются в стабильных районах континента на глубине около 200 км, где температура и давление благоприятствуют переходу углерода в его кубическую модификацию с плотнейшей упаковкой. Пробыв на значительной глубине миллионы и даже миллиарды лет, алмазы могут затем оказаться в составе кимберлитовых трубок, образовавшихся во время вулканического взрыва.

Недавно геологам П. Д. Кинни (P. D. Kinney; Технологический университет Кертина, Перт, штат Западная Австралия) и Г. О. А. Майеру (H. O. A. Meyer; Университет Пёрдью, Западный Лафайетт, штат Индиана, США) попал в руки алмаз, добытый в Заире, в районе пос. Мбуджи-Майи. Изотопный анализ входящих в его состав примесных минералов показал, что этот драгоценный камень невероятно «молод» — ему менее 630 млн. лет, хотя обычно возраст подобных находок находится в пределах 2.4—3.2 млрд. лет.

До сих пор дату рождения алмазов определяли, сопоставляя различные минеральные включения в его теле с аналогичными включениями, содержащимися в других камнях из той же кимберлитовой трубки. Кинни и Майер прибегли к помощи ионного микрозонда SHRIMP («Secondary High Resolution ion Microprobe»), обладающему высокой разрешающей способностью (такой прибор имеется в распоряжении Австралийского национального университета в Канберре).

Для подобного анализа необходимо всего лишь одно из включений в изучаемый объект. Прибор посылает в него поток ионов, что вызывает испарение вещества. Возникшие пары исследуются на масс-спектрометре с высоким разрешением. Измерив соотношение изотопов урана и свинца, а тем самым и степень распада урана, экспериментатор может судить о возрасте камня. Именно эта объективная методика и позволила определить время рождения алмаза Мбуджи-Майи.

Открытие имеет принципиальное значение: оно свидетельствует, что процесс образования алмазов шел на протяжении всего геологического времени, а не только в короткие ограниченные периоды. Весьма вероятно, что формирование алмазов в мантии Земли продолжается и в наше время.

Science News, 1994. V. 146. № 8. P. 127 (США).

## Геотектоника

**Азиатско - индостанское столкновение плит: кто уступает!**

Согласно современной теории глобальной тектоники, при столкновении двух плит земной коры интенсивные деформации могут происходить лишь вблизи их контакта. По крайней мере, земная кора, слагающая дно океанов, этому правилу подчиняется. Однако в области столкновения Индостанской плиты с Азиатской существуют, как известно, кроме Гималаев еще и удаленные от зоны контакта деформации — это Тибет-

ское плато и мощные горные системы Памира, Тянь-Шаня и Алтая.

В последние 20 лет геотектонисты предлагали различные объяснения этой особенности. Согласно одной точке зрения, нижняя часть Индостанской литосферы, сложенной мантийными породами, погружается под Азиатскую литосферу и затем «тонет» в глубинах мантии; согласно другой, литосфера Азиатского континента менее прочная, чем литосфера Индостана, и поэтому при столкновении она утолщается.

Принципиально новое объяснение предлагают канадские геофизики Ш. Д. Уиллет и К. Бомон (S. D. Willett, C. Beaumont; Университет Далхаузи, Галифакс, провинция Новая Шотландия). Авторы этой гипотезы полагают, что Азиатская плита на столкновение отвечает сокращением. При этом верхняя ее часть — кора, будучи слабой, утолщается, выгибается и коробится, порождая такие структуры, как Тибетское плато, Тянь-Шань и Алтай. Одновременно с сокращением коры основная часть плиты, сложенная породами мантии, слишком прочными, чтобы таким же образом реагировать на столкновение, начинает по зоне срыва погружаться под Индостанскую плиту, т. е. реагирует так же, как любая плита океанической коры, сталкивающаяся с континентом.

Такая гипотеза родилась в результате математического моделирования процесса столкновения плит. И хотя свидетельства того, что Азия действительно погружается под Индостан, пока немногочисленны, авторы видят в своей гипотезе объяснение ряда реально

наблюдаемых геометрических черт обеих континентальных плит.

Nature. 1994. V. 369. № 6482. P. 642—645 (Великобритания); Science News. 1994. V. 146. № 1. P. 15 (США).

#### Океанология

### Внесение железа в океан не сдержит потепление

Несколько лет назад Дж. Мартин (J. Martin; Мосс-Лендингская морская лаборатория, штат Калифорния, США) выдвинул оригинальную гипотезу, объясняющую парадоксальное явление: в ряде районов Мирового океана, несмотря на обилие питательных веществ, растительная жизнь весьма ограничена. По его мнению, причина заключается в крайне низкой концентрации растворенного в воде железа, которое необходимо для развития фитопланктона (без этого элемента не образуется гем хлорофилла — пигмента, осуществляющего начальную стадию фотосинтеза). В связи с этим Мартин предложил искусственно добавлять в малопродуктивные воды определенное количество железа, что должно стимулировать фотосинтез и привести к изъятию фитопланктоном значительных масс  $\text{CO}_2$  из атмосферы. Таким образом был бы создан метод эффективного противодействия глобальному потеплению.

Кроме того, автор этой гипотезы объяснял наступление в прошлом ледниковых эпох тем, что в Мировом океане тогда содержалось намного больше железа, что и приводило к всеобщему похолоданию.

В середине октября

1993 г. океанологи ряда научных учреждений США и Великобритании (в их числе — Мосс-Лендингская лаборатория, Морская лаборатория при Дьюкском университете, Массачусетский технологический институт, Плимутская морская лаборатория и др.) провели широко поставленный натуральный эксперимент с целью проверки гипотезы скончавшегося к тому времени ее автора.

Эксперимент осуществлялся в богатом питательными веществами, но практически безжизненном районе Тихого океана, расположенном в 500 км к югу от Галапагосских о-вов. Акватория площадью около 64 км<sup>2</sup> была «засеяна» железом общей массой примерно 450 кг.

Наблюдения в последующие 10 сут показали заметный рост биопродуктивности: концентрация хлорофилла утроилась, а биомасса в поверхностном слое воды удвоилась, что свидетельствовало о быстром росте планктона. И все же этот рост далеко не достиг ожидавшегося уровня (полагали, что биомасса возрастет не менее чем в 10 раз).

На динамику  $\text{CO}_2$  это оказало быстрое действие: эффект: сначала его концентрация действительно снизилась, но лишь на 10% от прогнозируемого уровня при условии полной утилизации внесенного железа. По видимому, параллельно с ростом массы фитопланктона немедленно увеличилось и количество питающихся им микроорганизмов, взявших под контроль его численность.

Эксперимент показал, что попытки вывести из среды, заметные количества  $\text{CO}_2$  были бы реальными только при внесении в море

больших масс железа, что в экологическом смысле совершенно недопустимо.

По мнению К. Коула (K. Coale; Мосс-Лендингская лаборатория), гипотеза Мартина в той ее части, которая касается палеоклиматологии и объясняет наступление эпох оледенения, остается непровергнутой. Именно в эти периоды сильные ветры могли заносить в Мировой океан большие массы богатого железом песка, сорванного с поверхности разросшихся пустынь.

Nature. 1994. V. 371. № 6493. P. 123 (Великобритания); Environmental Science and Technology. 1994. V. 28. № 12. P. 510A (США).

#### Океанология

### В Тихом океане обнаружена необычная зеленая полоса

Астронавты США с 1984 г. отмечают на поверхности Тихого океана преимущественно в летне-осенний период существование 1000-километровой загадочной узкой полосы. Использование спутниковых фотографий и другую океанографическую информацию, группа американских исследователей отчасти раскрыла причину ее образования. Полоса имеет густо-зеленую окраску, а ее местоположение совпадает с областью высокой концентрации диатомовых водорослей (от 5 до 29 мг/м<sup>3</sup>, хотя средняя концентрация хлорофилла а здесь в среднем составляет 0.3 мг/м<sup>3</sup>).

Существованием этой полосы можно объяснить высокое содержание диатомей в недавно исследованных донных осадках именно этой зоны океана.

La Recherche. 1995. V. 26. № 272. P. 11 (Франция).

## Метеорология

**Курение как метеорологический фактор**

Группа специалистов под руководством инженера-эколога Г. Касса (G. Cass; Калифорнийский технологический институт, Пасадена, США) исследовала вклад сигаретного дыма в химический состав воздуха в Лос-Анджелесе (штат Калифорния), который печально знаменит частым густым смогом, когда его жители перестают видеть окрестные горы.

Сначала необходимо было найти какую-нибудь характерную молекулярную метку, позволяющую выделить табачный дым из всех органических и неорганических соединений, образующих смог. Такой меткой оказался углеводород, входящий в состав естественной защитной пленки, покрывающей табачный лист. Часть этих углеводородов при горении сигарет не разлагается и попадает в атмосферу, где их можно обнаружить методами газовой хроматографии и масс-спектрометрии.

Эксперименты в лабораторных условиях показали, что табачный дым ответственен за 1—1.3% всех мелких взвешенных частиц, содержащихся в воздушном бассейне Лос-Анджелеса.

По мнению специалистов, в метеорологических моделях необходимо учитывать все мелкие источники загрязнения, поскольку их выбросы, хотя и слабо поддаются контролю, составляют примерно четверть общего загрязнения воздушного пространства. Согласно их выводам, сигареты, «подобно миллионм миниатюрных фабричных труб», дают не столь уж большой,

но вполне заметный вклад в формирование смога: наряду с другими мелкими частицами компоненты табачного дыма образуют дымку, которая окутывает улицы больших городов и вызывает рост заболеваний дыхательных путей.

New Scientist. 1994. V. 143. № 1939. P. 9 (Великобритания).

## Палеонтология

**Древнейшее четвероногое Северной Америки**

Происхождение четвероногих — одна из наиболее принципиальных и загадочных проблем палеонтологии позвоночных; она включает такие вопросы, как эволюционная схема их возникновения, время появления, история расселения по земному шару, физиологические адаптации.

До настоящего времени достаточно полный материал известен только из Восточной Гренландии, где скелеты *Ichthyostega* и *Acanthostega* были обнаружены в конце 20-х годов нашего столетия. Исследования последних двух десятилетий добавили новые материалы из Австралии, России и Латвии, оказавшиеся практически одного возраста с гренландскими находками — датируются самым концом девона (примерно 360 млн. лет назад). Недавнее обнаружение разрозненных остатков в Шотландии предоставило доказательство существования четвероногих около 370 млн. лет назад.

Новые образцы (части плечевого пояса, к которому крепились передние лапы), были найдены в 1993 г. на территории США, около деревни Хай-

нер (штат Пенсильвания), отчего вновь открытое животное получило название *Huonepeton* (змея, гад из Хайнера). Отложения, содержавшие костные остатки, датируются в интервале 365—363 млн. лет.

Исследователи этой находки полагают, что структуры, служившие для прикрепления мышц груди и передней лапы, были у хайнепетона развиты сильнее, чем у других известных девонских четвероногих; отсюда следует вывод о его больших возможностях активного движения<sup>1</sup>.

До сих пор предметом дискуссии остается вопрос, способны ли были девонские четвероногие передвигаться по суше, поскольку одни и те же комплексы мышц можно использовать как для ходьбы, так и для активного плавания. Отсутствие на изучаемом новом материале структуры, принимавшей участие в формировании жаберной полости, рассматривается как показатель свершившегося перехода от жаберного к легочному дыханию.

Хайнепетон найден, как и все другие девонские формы, в комплексе с разнообразными рыбами, что все же косвенно говорит о его водном образе жизни. По образцам горных пород в месте находки реконструируется и среда его обитания: прибрежная низина с многочисленными руслами рек и множеством дельт, образованных ими при впадении в море.

Находка четвероногого на территории США свиде-

<sup>1</sup> Daeschler E. B., Shubin N. H., Thomson K. S., Amaral W. W. Devonian tetrapod from North America // Science. 1994. V. 265. № 5172. P. 639—642.

тельствует, что уже в девонское время эти животные были широко распространены в приэкваториальной зоне по всему земному шару. Это может означать, что появились они либо в раннем девоне, когда единый материк Пангея еще не разделился, либо позднее, но уже были в состоянии преодолевать возникшие морские барьеры.

© О. А. Лебедев,  
кандидат биологических наук  
Москва

Экология

## Ультрафиолетовая радиация и жизнь в Антарктике

На полярных станциях США в Антарктиде начато изучение природных механизмов, которые позволяют обитающим там растительным и животным организмам противостоять повышенной ультрафиолетовой радиации. Из-за озонной дыры, расположенной над Антарктидой, уровни УФ-радиации, проникающей на материк и омывающие его воды, оказались в 1993 г. рекордными. Национальный научный фонд США поддержал работы ученых, находящихся на борту научно-исследовательского судна ледового класса «Натаниэль В. Пальмер» («Nathaniel V. Palmer»), которые в соответствии с Антарктической программой США (US Antarctic Program) изучают, какое воздействие на фитопланктон океана оказывает истощение озонового слоя. Исследования ведутся в море Уэдделла. Уже сейчас установлено, что из-за повышенной УФ-радиации продуктивность фитопланктона сократилась на 6—12%.

Измерения, проведенные на южнополярной станции США Амундсен-Скотт, показали, что средние уровни наиболее опасной для живых

организмов части УФ-радиации (УФ-В) были на 19% выше, чем в предыдущие два года. Средний уровень покраснения кожных покровов (эритема), который считается показателем, отражающим зависимость рака кожи от солнечной радиации, был на 23% выше по сравнению с прошлыми годами. Наконец, еще один показатель — оценка ущерба, наносимого УФ-радиацией экспонированным молекулам ДНК, — превысил уровень 1993 г. на 56%.

На американской станции Мак-Мердо, расположенной на побережье одноименного залива (море Росса), наблюдения за динамикой УФ-радиации ведутся с 1988 г.; в 1993 г. она возросла на 44%, при этом уровень эритемы повысился на 55%, а показатели по ДНК на 96% по сравнению с прошлыми годами. В районе этой станции дозы УФ-радиации более значительны, чем на станции Амундсен-Скотт, расположенной на Южном Полюсе, поскольку на станции Мак-Мердо Солнце над горизонтом поднимается выше.

На станции Пальмер, которая находится в Антарктическом п-ове, в противоположном от станции Мак-Мердо конце материка, величина УФ-радиации оказалась на 55% выше, уровни по эритеме — на 73%, а показатели по ДНК — на 113% выше по сравнению с предшествующими годами.

Находящаяся в ведении Национального научного фонда США и расположенная в г. Ушуая на юге Аргентины станция мониторинга по УФ-радиации до настоящего времени какой-либо информации о состоянии озонной дыры на начало 1994 г. не сообщала.

Bulletin of the American Meteorological Society. 1994. V. 175. № 1. P. 120 (США).

Экология

## Шторм и пингвины против аэродрома

В январе 1994 г. мощный шторм в районе французской южнополярной станции Дюмон д'Юрвиль разрушил только что построенную взлетную полосу длиной 1100 м: волны смыли в море основную часть этого дорогостоящего сооружения.

Группа экспертов изучила степень поврежденности взлетной полосы, оценила масштабы воздействия аэродрома на окружающую среду и сделала заключение, что возобновлять строительство разрушенной полосы не следует.

Еще раньше французские экологи и биологи были озабочены тем, что строительство уже привело к исчезновению 35% площади гнездования пяти видов антарктических птиц, включая пингвинов Адели, южнополярных поморников и буревестников. Планируемые же в дальнейшем приземление и взлет крупных самолетов станут мощным фактором беспокойства пингвинов в период их размножения, а это может нанести серьезный урон их здешней популяции.

Помимо экологических приняты во внимание и экономические соображения: для сооружения взлетной полосы были срыты три прибрежных островка, что обошлось в 110 млн. франков. Ремонт потребовал бы новых ассигнований (от 25 до 50 млн. франков), а строительный грунт пришлось бы доставлять с других островов. При этом нет гарантии, что сооружение не окажется смытым новым сильным штормом.

Необходимость в аэродроме как раз и возникла из-за очень тяжелых навигационных условий: плавучие льды препятствуют подходу судов к полярной станции почти круглый год, кроме декабря.

Отказ от строительства аэродрома, конечно, усложнит создание новой франко-итальянской южнополярной станции в глубине материка на расстоянии около 1 тыс. км от побережья, в районе, где метеорологические и гляциологические наблюдения до сих пор не проводились.

New Scientist. 1994. V. 141. No 1914. P. 6; New Scientist. 1994. V. 143. No 1934. P. 5 (Великобритания).

#### Палеоэкология

### И в древности атмосфера загрязняла

Считается, что загрязнение воздушной среды есть «болезнь» промышленной цивилизации. Это мнение опровергают работы И. Ренберга (I. Renberg; Университет Умео, Швеция), который вместе с коллегами обнаружил очевидные следы свинцового загрязнения, произошедшего по крайней мере 2600 лет назад.

Исследователи измерили концентрации Pb в колонках осадочных пород, поднятых при бурении дна более 100 озер Швеции. Радиоуглеродное датирование показало, что в период между 10 и 3 тыс. лет назад количество свинца было незначительным. Но примерно 2600 лет назад концентрация Pb стала возрастать, достигнув к началу новой эры некоторого пика, в пять раз превышающего ес-

тественный фоновый уровень. Затем она резко упала и оставалась низкой до тех пор, пока 1000 лет назад не начался новый ее подъем. Особенно крутым он был в 1800-е годы и в 1970 г.

Геохимик К. Паттерсон (C. Patterson; Калифорнийский технологический институт, Пасадена), специализирующаяся на истории металлургии, отмечает, что динамика содержания Pb в осадочных породах, очевидно, шла параллельно с развитием производства этого металла в древнем мире. Так, загрязнение скандинавских озер свинцом приходится примерно на то же самое время, когда в Древней Греции стали чеканить серебряные монеты, для чего приходилось плавить свинцовую руду. Добыча свинца росла примерно до начала новой эры, когда Римская империя окончательно исчерпала залежи свинцовой руды в своей провинции — Испании. В Древнем Риме этот металл шел на водопроводные трубы и цистерны; его принято было добавлять в вино. Некоторые историки даже связывают падение Римской империи с массовым свинцовым отравлением ее граждан. Равным образом и в средневековой Германии возрастало потребление свинца с расширением производства серебряной монеты и различных предметов из этого драгоценного металла.

Шведские ученые утверждают, что свинцовое загрязнение озер их страны было следствием загрязнения атмосферы; одновременный рост концентрации Pb в озерных осадках по всей Швеции отмечает связь этого процесса с локальными пожарами. Кроме того, в пользу этой точки зрения

свидетельствует и тот факт, что наименьшее количество свинца обнаруживается на дне северных акваторий, самых удаленных от римских поселений — в Британии, и в северной части Европейского континента, а наибольшее — на юге, т. е. ближе к центрам древней металлургии.

Правда, по нынешним стандартам древнее загрязнение было незначительным: 1000 лет назад концентрация Pb едва достигала 0.1 от нынешнего уровня; эти измерения выполнялись под руководством геохимика С. Нортон (S. Norton) в Университете штата Мэн, США.

И все же, поскольку процесс продолжался многие века, общее количество антропогенного свинца, поступившего в природную среду, по меньшей мере сравнимо с последствиями промышленной революции XVIII—XIX вв.

Nature. 1994. V. 368. No 6469. P. 323 (Великобритания).

Ф. СП-1

АБОНЕМЕНТ на журнал **ПРИРОДА** (индекс издания) 70707

Количество комплектов

на 1995 год

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда \_\_\_\_\_ (почтовый индекс) \_\_\_\_\_ (адрес)

Кому \_\_\_\_\_ (фамилия инициалы)

---

ДОСТАВочная КАРточка

на журнал **ПРИРОДА** (индекс издания) 70707

ПВ место Ял. тер

Стоимость подписки \_\_\_\_\_ руб. коп. Количество комплектов \_\_\_\_\_ руб. коп.

на 1995 год

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда \_\_\_\_\_ (почтовый индекс) \_\_\_\_\_ (адрес)

Кому \_\_\_\_\_ (фамилия инициалы)

**Дорогие читатели!**

Оформляя подписку на второе полугодие 1995 г., **ТРЕБУЙТЕ** на почтамте каталог издательства «Известия». Сведения о «ПРИРОДЕ» (наш индекс 70707) помещены на стр. 29.

## ПРОВЕРЬТЕ ПРАВИЛЬНОСТЬ ОФОРМЛЕНИЯ АБОНЕМЕНТА!

На абонемента должен быть проставлен оттиск кассовой машины

При оформлении подписки (переадресовки) без кассовой машины на абонемента проставляется оттиск календарного штампа отделения связи. В этом случае абонемент выдается подписчику с квитанцией об оплате стоимости подписки (переадресовки).

Для оформления подписки на газету или журнал, а также для переадресования издания бланк абонемента с доставочной карточкой заполняется подписчиком чернилами, разборчиво, без сокращений, в соответствии с условиями, изложенными в каталогах Роспечати.

Заполнение месячных клеток при переадресовании издания, а также клетки "ПВ - МЕСТО" производится работниками предприятий связи и Роспечати.

Над номером работали

Ответственный секретарь  
Л. П. БЕЛЯНОВА

Научные редакторы

И. Н. АРУТЮНЯН  
О. О. АСТАХОВА  
М. Ю. ЗУБРЕВА  
Г. В. КОРОТКЕВИЧ  
Т. Ю. ЛИСОВСКАЯ  
Л. А. ПАРШИНА  
М. С. ПОКРОВСКАЯ  
Н. А. ПОТАПОВА  
К. Л. СОРОКИНА  
Н. В. УЛЬЯНОВА  
Н. В. УСПЕНСКАЯ  
О. И. ШУТОВА

Литературный редактор  
М. Я. ФИЛЬШТЕЙН

Художественные редакторы  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Е. В. СИНИЦЫНА

Заведующая редакцией  
И. Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор  
Е. Е. БУШУЕВА

Компьютерный набор  
А. Г. ЕВСТИГНЕЕВ

Корректоры  
Т. Н. МОРОЗОВА  
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА

В художественном оформлении  
номера принимали участие  
В. С. КРЫЛОВА  
Д. В. СКОПИН

Адрес редакции:  
117810, Москва, ГСП-1  
Мароховский пер., 26  
Тел. 238-24-56, 238-23-33  
Факс (095) 238-24-56

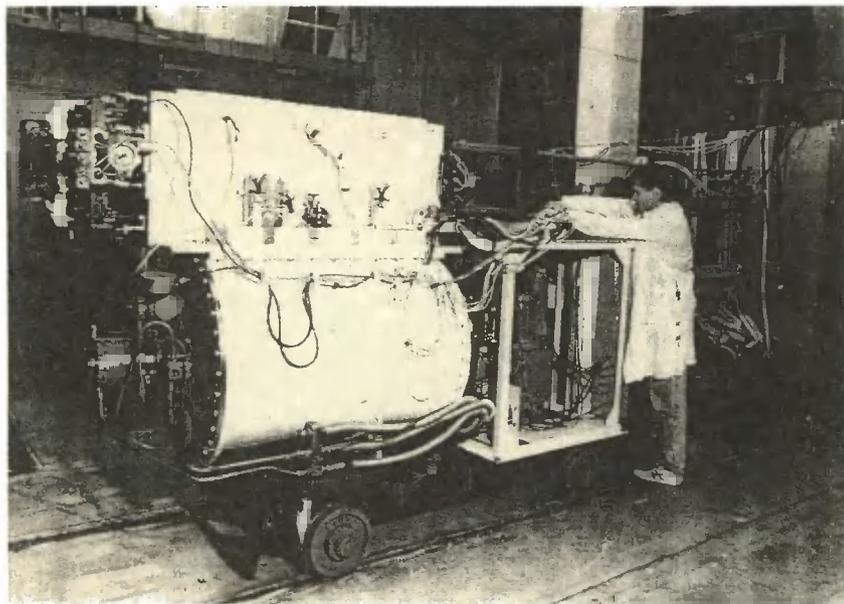
Издательство «Наука» РАН

Сдано в набор 12.07.95  
Подписано в печать 22.08.95  
Формат 70×100 1/16  
Бумага типографская N 2  
Офсетная печать  
Усл. печ. л. 9,03  
Усл. кр.-отт. 136,5 тыс.  
Уч.-изд. л. 13,7  
Тираж 5642 экз.  
Заказ 899

Ордена Трудового Красного Знамени  
Чеховский полиграфический комбинат  
Комитета Российской Федерации по печати  
142300, г. Чехов, Московской области  
Тел. (272) 71-336  
Факс (272) 62-536

# ПРИРОДА

# 9<sup>95</sup>



Как ядерные реакторы, так и лазеры являют собой техническое воплощение наиболее впечатляющих достижений физической науки нашего века. Сейчас и в России, и в Соединенных Штатах ведется работа по созданию реактора-лазера, объединяющего обе эти идеи. В случае успеха можно будет преобразовывать энергию распада атомных ядер не только в тепло, а затем — в электричество, но и непосредственно в когерентное излучение. Удивительно, что при чрезвычайно скудном финансировании в разработке таких реакторов Россия до сих пор впереди.

**Яковленко С. И. РЕАКТОР-ЛАЗЕР: МЕЧТА ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?**

